Deutscher Bundestag **Drucksache 17/4485**
17. Wahlperiode 14. 01. 2011

Unterrichtung
durch die Bundesregierung

Aktionsplan Nanotechnologie 2015

Inhaltsverzeichnis

Zugeleitet mit Schreiben des Bundesministeriums für Bildung und Forschung vom 12. Januar 2011.

Einleitung

Nanotechnologische Anwendungen haben in eine Vielzahl von Produkten und Prozessen Einzug gehalten. Hier werden gezielt neue funktionelle Eigenschaften ausgenutzt, welche Objekte und Materialstrukturen mit Dimensionen im Nanometerbereich, im Allgemeinen unter 100 nm [1], aufweisen [2]. So werden in weiten Grenzen neue elektronische, magnetische und optische Eigenschaften von Werkstoffen hervorgerufen: Schmelzpunkte verschieben sich, aber auch katalytische Aktivitäten, Löslichkeit und Transporteigenschaften von Stoffen werden größenabhängig.

Der Begriff „Nanotechnologie“ wurde in den 1970er Jahren durch den Japaner Norio Taniguchi geprägt. Er beschrieb so Herstellungsmethoden mit einer Präzision im Nanometerbereich. Als Vater der Nanotechnologie gilt jedoch der amerikanische Physiker und Nobelpreisträger Richard Feynman, der bereits 1959 in seiner Rede „There’s plenty of room at the bottom“ („Es gibt sehr viel Platz am unteren Ende“) die technischen Möglichkeiten der Nanoskala prognostizierte.

Die zunehmende wirtschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung der Nanotechnologie wurde bereits im Jahr 2006 von sieben Ressorts der Bundesregierung aufgegriffen. Mit der „Nano-Initiative – Aktionsplan 2010“ legten sie erstmalig einen einheitlichen und ressortübergreifenden Aktionsrahmen vor, der die verschiedenen – und manchmal auch widerstreitenden – Handlungsansätze von der KMU-Förderung, neuen Leitinnovationen über verstärkte Risikoforschung bis hin zu einem umfassenden Dialog mit der Öffentlichkeit über Chancen und Auswirkungen der Nanotechnologie unter einem Dach bündelte. Das gemeinsame Vorgehen und die Abstimmung der Ressorts in ihren Aktivitäten hat eine Grundlage geschaffen, auf der sich die Nanotechnologie in Deutschland als positiver Wirtschaftsfaktor verstetigen und die Forschung ihren hohen Standard ausbauen konnte. Zugleich wurden durch intensive Dialoge mit den verschiedenen Gruppen in der Gesellschaft das kontinuierliche Gespäch über Nanotechnologie geführt, Ängste aufgenommen und bei der weiteren Ausrichtung insbesondere in Forschung und Entwicklung berücksichtigt.

Nach wie vor wird das wissenschaftliche und wirtschaftliche Potenzial der Nanotechnologie hoch eingestuft. Gleichzeitig fehlt es noch immer an Wissen über mögliche Auswirkungen. Hier liegen die Herausforderungen für die Bundesregierung, die Chancen für Innovationen, Forschung und Entwicklung zu nutzen und gleichzeitig Mensch und Umwelt zu schützen.

Mit einer hohen Zahl von Anwendungen hat die Nanotechnologie in fast alle Branchen Einzug gehalten. Waren Anfang des Jahrtausends die meisten Anwendungen der Nanotechnologie noch auf spezielle technische Produkte beschränkt, findet sich inzwischen eine zunehmende Verbreitung auch in Alltags- und Verbraucherprodukten. Parallel dazu hat eine umfassende Diskussion der gesellschaftlichen Gruppen über die Chancen und Risiken der Nanotechnologie eingesetzt. Auch steht die Frage der Regulierung für Produkte, die Nanomaterialien enthalten, zunehmend im Fokus. So wird derzeit geprüft, inwieweit der europäische und nationale Gesetzesrahmen in Bezug auf die Verwendung von Nanomaterialien in Produkten angepasst werden sollte, um die Sicherheit von Verbrauchern zu gewährleisten. Eine Änderung der europäischen Kosmetikverordnung wurde bereits beschlossen: Ab 2013 ist eine Kennzeichnung von Nanomaterialien in Kosmetika verpflichtend vorgesehen.

Der Eingang von Nanotechnologien in gesetzliche Regelungen hat die Frage einer justiziablen Definition von Nanomaterialien über die rein technisch-naturwissenschaftliche Betrachtungsweise hinaus aufgeworfen. Die erste Definition stammte von Norio Taniguchi, der 1974 formulierte *„Nanotechnology mainly consists of the processing of separation, consolidation, and deformation of materials by one atom or one molecule“* [3]. Gesetzeskraft hat bisher nur die Definition im Rahmen der EU-Kosmetikverordnung: „Nanomaterial: ein unlösliches oder biologisch beständiges und absichtlich hergestelltes Material mit einer oder mehreren äußeren Abmessungen oder einer inneren Struktur in einer Größenordnung von 1 bis 100 Nanometern“ [4]. Eine international abgestimmte Definition wurde bislang nicht verabschiedet; es ist aber eine Vielzahl verschiedener Definitionen in der Diskussion [5].

2 Strategische Ziele der Bundesregierung

Deutschland ist ein exportorientiertes, rohstoffarmes Land, dessen Wettbewerbsfähigkeit eng an Zukunftsmärkte gekoppelt ist. Daher ist eine koordinierte Innovationspolitik der Bundesressorts gerade in Feldern wie der Nanotechnologie erforderlich. Erfolgreiche Innovation hängt von der guten Zusammenarbeit aller Akteure ab. Sie fordert Verantwortung in Forschung, Bildung, Wirtschaft und Politik. Um diese Potenziale der Nanotechnologie für Deutschland umfassend zu nutzen, legt die Bundesregierung den „Aktionsplan Nanotechnologie 2015" vor, der die gemeinsame Plattform für einen sicheren, nachhaltigen und erfolgreichen Umgang mit der Nanotechnolgie in allen ihren Facetten bildet.

Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt

- **mit Nanotechnologie zu Wachstum und Innovation in Deutschland beizutragen.**
  Der Wirtschaftsstandort Deutschland wurde durch die Weltwirtschafts- und Finanzkrise mit einem Rückgang des Bruttosozialproduktes von 4,8 % im Jahr 2009 hart getroffen. Insbesondere der Export verzeichnete mit rund 19 % einen historischen Rückgang, in dessen Folge Deutschland den langjährigen Titel als Exportweltmeister an China abtreten musste. Die wirtschaftliche Zukunft Deutschlands wird auch maßgeblich davon abhängen, wie gut die Chancen der Schlüsseltechnologien genutzt werden. Auf den Weltmärkten gibt es mittlerweile kaum noch ein Hightech-Produkt, bei dessen Herstellung keine nanotechnologischen Verfahren und Komponenten eingesetzt werden. Für das Jahr 2015 wird das branchenübergreifende, weltweite Marktvolumen, welches die Nanotechnologie zu beeinflussen vermag, auf über eine Billion Euro geschätzt. Der Nanotechnologiesektor zählt mit einer Forschungsquote von 14 % der FuE-Ausgaben in Relation zum Gesamtumsatz zu einem der innovativsten Technologiefelder in Deutschland. Deshalb ist es ein Ziel der Bundesregierung, nanotechnologische Innovationen zur Stärkung der deutschen Wirtschaft und zum Nutzen der Bürger sicher und nachhaltig voranzutreiben.

- **Nanotechnologie sicher und nachhaltig zu gestalten.**
  Die Nanotechnologie findet eine wachsende Verbreitung in Alltags- und Verbraucherprodukten. Die Industrie hat die Verpflichtung, ausschließlich sichere und in der Verwendung für den Verbraucher unbedenkliche Produkte auf den Markt zu bringen. Auch wenn davon auszugehen ist, dass dies für die derzeit auf dem Markt befindlichen Nanotechnologieprodukte zutrifft, herrscht in der Öffentlichkeit wenig Transparenz darüber, in welchen Produkten Nanomaterialien tatsächlich eingesetzt werden und mit welchen Konsequenzen dies möglicherweise verbunden sein könnte. Durch die zunehmende Nutzung von Nanomaterialien in Verbraucherprodukten steigt auch die Möglichkeit der Umwelteinträge. Vor diesem Hintergrund ist es notwendig, Expositionsszenarien, produkt- bzw. partikelspezifische Risikoabschätzungen und ökotoxikologische Bewertungen voranzutreiben. Die Bundesregierung will deshalb dazu beitragen, die Auswirkungen von Nanomaterialien auf Mensch und Umwelt zu klären, deren potenzielle Risiken zu erforschen und wenn erforderlich ein entsprechendes Risikomanagement zu etablieren. Die Bundesregierung plant dazu einen entsprechenden Aufwuchs der erforderlichen Mittel.

- **die Potenziale der Nanotechnologie in Bildung und Forschung zu nutzen.**
  Für Deutschland sind Forschung und Innovation unersetzlich. Grundlage dafür sind gut ausgebildete Fachkräfte und eine aktive, exzellente Forschungslandschaft. Nanowissenschaften und Nanotechnologie bieten dafür umfassende Möglichkeiten. Durch ihren interdisziplinären Charakter eröffnen sich neue Forschungsfelder und Lösungsansätze, entstehen neue Berufsbilder. Die ausgewiesene Forschungslandschaft und ein engmaschiges Netz an Infrastrukturen liefern einerseits Forschungsergebnisse als Grundlage für die industrielle Verwertung, greifen aber andererseits auch Fragestellungen auf, die sich im Rahmen neuer wirtschaftlicher Entwicklungen ergeben. Beide, Wissenschaft und Wirtschaft, geben zudem Impulse für Aus-

und Weiterbildung, um den Anforderungen der Nanowissenschaften und Nanotechnologie gerecht werden zu können. Die Bundesregierung wird auch in Zukunft Maßnahmen unterstützen, die den Technologiestandort Deutschland ausbauen, Nachwuchs fördern sowie Kompetenzen und Infrastrukturen bilden.

- **die Potenziale der Nanotechnologie bei der Lösung globaler Herausforderungen auszuschöpfen.**
  Die Hightech-Strategie der Bundesregierung stellt die globalen Herausforderungen Klima/Energie, Gesundheit/Ernährung, Mobilität, Sicherheit und Kommunikation, für die in Zukunft Lösungen gefunden werden müssen, in den Mittelpunkt. Deutschland soll hier zum Vorreiter werden und überzeugende Antworten auf die drängenden Fragen des 21. Jahrhunderts geben können. Nanotechnologie und andere Schlüsseltechnologien bieten technologische Ansätze mit den konkreten Herausforderungen umzugehen.

So will die Bundesregierung

- **die Beiträge der Nanotechnologie zu Umwelt- und Klimaschutz, zur Sicherung der Energieversorgung sowie zum Aufbau einer wissensbasierten Bioökonomie sichern.**
  Die Nutzung nanoskaliger Materialien und Effekte eröffnet in vielen Bereichen Potenziale für ressourcen- und energieeffiziente Produkte und Prozesse. Dazu zählen Umwelttechnologien zur Entfernung und Vermeidung von Schadstoffen, Verfahren des produktionsintegrierten Umweltschutzes mit optimierten Energie- und Stoffströmen sowie effiziente Verfahren der Energiewandlung, -speicherung, -verteilung und -nutzung. Innovationen aus der Nanotechnologieforschung sollen dazu beitragen, dass Deutschland sich als Leitmarkt und zur Exportnation für energie- und ressourcenschonende Produkte etabliert. Insbesondere kann durch den Aufbau einer wissensbasierten Bioökonomie eine nachhaltige Rohstoff- und Energieversorgung aus Biomasse erreicht werden. So kommt bei der zunehmenden Diffusion biobasierter Verfahren in klassische Industriezweige wie die Chemie-, Pharma-, Papier- oder Energiebranche auch die Nanotechnologie zum Einsatz und kann wichtige Beiträge zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele der Bundesregierung leisten.

- **die Möglichkeiten der Nanotechnologie für die Gesundheit einsetzen.**
  Gesundheit ist ein Thema, das Menschen in der ganzen Welt betrifft und bewegt. Doch trotz intensiver Forschung sind die Zusammenhänge zwischen genetischer Disposition, Umwelt und Lebensstil bei der Krankheitsentstehung oft noch unverstanden. Hinzu kommt, dass durch veränderte Lebensbedingungen und zunehmende Lebenserwartung Erkrankungen wie Stoffwechselstörungen, Krebs, Herz-Kreislaufprobleme oder Demenz verstärkt auftreten. Neue Präventions-, Diagnose- und Therapiemethoden sind zu erforschen; Verfahren der individualisierten Medizin werden an Bedeutung gewinnen. Der Einsatz von Nanotechnologien in der Medizin kann neuartige und wirkungsvolle Impulse für die Gesundheitsversorgung geben. Nanopartikel bieten neue technische Lösungswege, um Krankheiten früher zu diagnostizieren, zerstörtes Gewebe zu heilen und Medikamente effektiver an den Ort ihrer Wirkung zu bringen.

- **die Möglichkeiten der Nanotechnologie für eine nachhaltige Landwirtschaft und die Sicherung der Ernährung nutzen.**
  Zunehmend strengere Grenzwerte, Aufzeichnungspflichten und Produktionsauflagen erfordern in weiten Teilen der intensiven Land- und Forstwirtschaft sowie der Tierhaltung hoch präzise Verfahren, die sich nur noch mit Hilfe elektronisch feinstgesteuerter und dokumentierter Produktionsverfahren realisieren lassen. Nanotechnologische Entwicklungen können wesentlich zu optimierten elektronischen Steuerungs- und Regeltechniken beitragen. Im Bereich des Pflanzenschutzes lassen sich nanoverkapselte Wirkstoffe wesentlich effizienter und umweltschonender einsetzen, wenn sie

die gesetzlichen Vorgaben erfüllen. Voraussetzung für die Anwendung von Nanomaterialien in der Landwirtschaft ist die Risikobewertung der veränderten Eigenschaften der Wirkstoffe sowie der Trägerstoffe. Potenzielle Einsatzmöglichkeiten der Nanotechnologie gibt es auch in Anwendungsbereichen der Lebensmittel- und Futtermittelproduktion und -verarbeitung, in der Lebens- und Futtermittelanalytik sowie -qualitätssicherung. Erforscht wird ein möglicher positiver Effekt von Nanopartikeln auf die Hygiene und Haltbarkeit von Lebensmitteln, die damit einen Beitrag zur Verringerung der gravierenden Nach-Ernte-Verluste leisten könnten. Ein direkter Einsatz von Nanotechnologie bei Lebens- und Futtermitteln sowie deren Inhaltsstoffen findet nach jetzigem Kenntnisstand in Deutschland derzeit noch nicht statt und wird künftig nur nach sorgfältiger Prüfung von Sicherheitsfragen zugelassen werden.

- **mit Nanotechnologie zu umweltfreundlicher und energiesparender Mobilität kommen.** Aufgrund schwindender fossiler Ressourcen müssen verkehrstechnische Alternativen zum Verbrennungsmotor gefunden werden. Dem elektrischen Antrieb gehört die Zukunft. Es ist Ziel der Bundesregierung, Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln. Mit dem Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität werden Maßnahmen aufgezeigt, welche die Rahmenbedingungen für eine Million Elektrofahrzeuge in Deutschland im Jahr 2020 schaffen sollen. Dazu müssen u. a. moderne Elektroantriebe und Energiespeicher erforscht und entwickelt werden. Nanotechnologische Erkenntnisse haben eine große Bedeutung bei der Herstellung von wiederaufladbaren Batterien und Superkondensatoren mit hoher Kapazität. Zudem ist Nanotechnologie bei anderen alternativen Antrieben wie bei der Erforschung von Materialien für Wasserstoffspeicher und bei Komponenten für die Brennstoffzellenentwicklung von großer Bedeutung.

3 Nanotechnologie in Deutschland – eine Übersicht

3.1 Image der Nanotechnologie – Transparenz und Information

Die umfassende Information der Öffentlichkeit über das Für und Wider nanotechnologischer Materialien und Anwendungen ist von hoher Bedeutung, um die Diskussion über den Einsatz der Nanotechnologie zu versachlichen. Dabei sind die Orientierung an berechtigten Erwartungen der Bürgerinnen und Bürger sowie ein offener Dialog mit Politik, Wirtschaft und Gesellschaft wichtige Anliegen.

Bei Alltagsprodukten kommt es darauf an, die Verbraucherinnen und Verbraucher stärker mit Nanoprodukten vertraut zu machen und zu erläutern, wie und warum ein nanoskaliges Material eingesetzt wird. Dabei müssen die Eigenschaften von Produkten mit nanoskaligen Bestandteilen sachgerecht vermittelt und die für eine ungefährliche Verwendung notwendige Handhabung klar dargestellt werden. Nur so ist eine sachliche Risikodiskussion sichergestellt, die sowohl pauschale Versprechungen als auch die pauschale Ablehnung synthetischer Nanomaterialien vermeidet.

Verbraucherbefragungen und Untersuchungsergebnisse zur Risikowahrnehmung zeigen, dass der Wissensstand zur Nanotechnologie in der Bevölkerung noch eher gering ist [6]. Bei einer differenzierten Abfrage zeigte sich, dass Nanotechnologie vor allem im medizinischen Bereich und in der Oberflächenversiegelung akzeptiert wird. Je eher Nanoprodukte mit dem Körper direkt in Berührung kommen (z. B. Textilien und Kosmetika) oder gar in den Körper gelangen würden, ohne wie bei medizinischen Anwendungen einen erkennbaren Nutzen zu zeigen (z. B. Lebensmittel), desto geringer wird die Akzeptanz. Weitere Untersuchungen zum Image der Nanotechnologie in der Bevölkerung, ebenso wie öffentliche Diskurse und Angebote zur Risikokommunikation auch unter Beteiligung von Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Interessengruppen, sollen auch künftig Orientierung erleichtern und zum verantwortungsvollen Umgang mit Nanotechnologie beitragen.

3.2 Status Quo der Nanotechnologie in Deutschland

Die wirtschaftliche Bedeutung der Nanotechnologie liegt vor allem in ihrer Schrittmacherfunktion. Sie setzt als „enabling technology“ früh in der Wertschöpfungskette an. Durch neue Produktionsansätze, neue Materialien und neue Komponenten ermöglicht sie leistungsfähigere Produkte. Dabei ist Deutschland auch in der nanotechnologischen Grundlagenforschung gut aufgestellt. Für die Verwertung der Forschungsergebnisse ist zudem eine breite industrielle Basis vorhanden.

Forschungslandschaft

Im Bereich der Grundlagenforschung gehören die Institute der Max-Planck-Gesellschaft und der Helmholtz-Gemeinschaft zu den weltweit führenden Einrichtungen auf Gebieten der Nanotechnologie. Auch die Fraunhofer-Gesellschaft und die Leibniz-Gemeinschaft sind in der Grundlagenforschung gut positioniert und haben dabei zugleich die anwendungsrelevanten Umsetzungsaktivitäten im Blick. Zudem widmen sich Experten an fast allen deutschen Hochschulen mit technisch-wissenschaftlichem Schwerpunkt nanotechnologischen Fragestellungen. Hier werden sowohl Anwendungen der Nanotechnologie als auch ihre Auswirkungen auf Mensch und Umwelt bearbeitet.

Ein Netzwerk von **Fraunhofer-Instituten** fokussiert in der Allianz Nanotechnologie die Aktivitäten auf die gemeinsame Lösung von Fragestellungen zu multifunktionalen Schichten, zum Design spezieller Nanopartikel und zu Anwendungen von Kohlenstoffnanoröhrchen. Die Allianz Photokatalyse beschäftigt sich spezifisch mit der Entwicklung von photokatalytisch aktiven Beschichtungen auf Basis von Nanopartikeln, wobei auch der Umweltaspekt adressiert wird. Im Bereich Schlüsseltechnologien zielen die Aktivitäten der **Helmholtz-Gemeinschaft** auf die Integration von Nano- und Mikrosystemen. Zum Thema Nanomaterialien und Prozesse wurde in Karlsruhe die Nano-Micro-Facility eröffnet, die allen Helmholtz-Einrichtungen als Nutzereinrichtung zur Verfügung steht. Das Helmholtz Zentrum München bearbeitet speziell Fragen zur

Toxikologie. Mehrere **Max-Planck-Institute** sind schon seit Jahren auf den Feldern Nanomaterialen, supramolekulare Systeme oder auch Charakterisierungsverfahren tätig. Auch die **Leibniz-Gemeinschaft** kann auf zahlreiche Institute mit exzellenten Ergebnissen in der Erforschung von Nanomaterialien, Oberflächen sowie opto- und nanoelektronischen Eigenschaften setzen.

Im Rahmen der **Exzellenzinitiative** von Bund und Ländern werden Zukunftskonzepte, so genannte Exzellenzcluster und Graduiertenkollegs, gefördert, die zu einer fundierten nanotechnologierelevanten Ausbildung und zu exzellenten Forschungsergebnissen beitragen. Weiterhin unterstützt die Bundesregierung im Rahmen des Konjunkturprogramms II FuE-Maßnahmen zum Kompetenzaufbau in der Elektrochemie.

Forschungsinfrastrukturen

Im Bereich der **Infrastrukturen und Großgeräte** fördert die Bundesregierung seit mehr als dreißig Jahren nationale Photonen- und Neutronenquellen, die inzwischen für die Grundlagenforschung an Nanomaterialien unerlässlich sind. Dadurch steht deutschen Wissenschaftlern im internationalen Vergleich ein breites Spektrum an hervorragenden Forschungsmöglichkeiten zur Verfügung.

Multifunktionale Nanomaterialien übersteigen in ihrer Komplexität die Charakterisierungsmöglichkeiten einzelner Laboratorien und erfordern eine umfassende, interdisziplinäre Herangehensweise. Die Ergebnisse der Forschung mit Synchrotron- und Neutronenstrahlen sind dabei unverzichtbar. Die Photonen- und Neutronenquellen bieten ein einmaliges Potenzial, die unterschiedlichsten Prozesse in verschiedenen Zeit- und Raumdimensionen in-situ zu untersuchen. Somit erschließen solche Großgeräte die Möglichkeit, zu einem umfassenden Verständnis und daher zur Kontrolle relevanter Prozesse in den Nanowissenschaften zu gelangen [7].

Infrastrukturen in Deutschland:

- Photonen („Synchrotronstrahlung“):
  - DORIS, PETRA III, FLASH – DESY Hamburg
  - BESSY II – HZB Berlin
  - ANKA – KIT Karlsruhe
- Neutronen
  - FRM II – TUM München, Außenstellen FZJ, GKSS und HZB
  - BER II – HZB Berlin
- Geladene Teilchen (nukleare Sonden und Ionenstrahlen)
  - UNILAC / SIS18 – GSI Darmstadt
  - FRM II / Positronenquelle – TUM München

Europäische Quellen mit deutscher Beteiligung:

- European XFEL – Hamburg (Photonen)
- ESRF – Grenoble (Photonen)
- HFR – ILL Grenoble (Neutronen)
- EMBL Außenstellen in Hamburg und Grenoble (Photonen und Neutronen)
- ISOLDE – CERN, Genf

Ressortforschung

Auch die **Ressortforschung** hat die Nanotechnologie in den Blick genommen. Die Sicherheitsforschung hat im Bereich des Arbeitsschutzes eine besondere Bedeutung, da die in der Entwicklung und Produktion von Nanomaterialien beschäftigten Personen zuerst mit den Auswirkungen der neuen Technologie konfrontiert sind. Die **Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)** bearbeitet daher Projekte für den Bereich Nanotechnologie und Arbeitsschutz. Das **Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR)** befasst sich mit der gesundheitlichen Bewertung der Anwendung der Nanotechnologie und veröffentlicht die Ergebnisse im Rahmen der Risikokommunikation u. a. in seinem Internetauftritt. Das BfR organisiert zudem öffentlichkeitsbezogene Projekte zum Thema Nanotechnologie. Die **Bundesanstalt für Materialforschung**

und -prüfung (BAM) leistet wichtige Beiträge, indem sie im Rahmen ihres Auftrags „Sicherheit und Chemie“ Prüfverfahren und Referenzmaterialien entwickelt, ihre wissenschaftliche Expertise in die Normung einbringt und so die Qualitätssicherung in der Nanotechnologie vorantreibt. Darüber hinaus ist sie an zahlreichen Forschungsaktivitäten und -projekten beteiligt, die Werkstoffinnovationen und Materialeffizienz zum Ziel haben. Die **Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)** ist als das nationale Metrologie-Institut für die Einheitlichkeit des Messwesens in Deutschland zuständig und sichert durch die Entwicklung von Messgeräten und -verfahren die Rückführbarkeit von Messergebnissen auf das internationale Einheitensystem (SI). Im Bereich der Nanotechnologie bearbeitet die PTB daher u. a. Forschungsprojekte zur quantitativen Charakterisierung von Nanopartikeln sowie nanoskaliger Strukturen und beteiligt sich in entsprechenden Normungsgremien. Das **Umweltbundesamt (UBA)** befasst sich mit umwelt- und gesundheitsrelevanten Aspekten der Nanotechnologie. Dazu gehören sowohl die Betrachtung und Bewertung der Umweltverträglichkeit nanotechnischer Anwendungen als auch die möglichen Risiken für Umwelt und Gesundheit. Das UBA initiiert und betreut zahlreiche Forschungsvorhaben zur Ökotoxikologie, dem Verhalten von Nanomaterialien in der Umwelt sowie der Aufnahme und dem Verbleib im menschlichen Körper. Das **Julius-Kühn-Institut (JKI)** befasst sich mit der Aufgabe, landwirtschaftliche Innovationen im nanotechnologischen Bereich durch Risikobewertungen zu unterstützen. Das **Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)** beschäftigt sich u. a. mit nanostrukturierten Katalysatoren zur hochselektiven Konversion von nachwachsenden Rohstoffen zu Grund- und Wertstoffen für die Industrie. Weiterhin werden Bindung und Abbau von Schadstoffen an bifunktionellen nanostrukturierten Materialien untersucht. Das **Max Rubner-Institut (MRI)** bearbeitet Nanomaterialien im Lebensmittelbereich. Untersucht werden nanoskalige Trägersysteme für bioaktive Substanzen und ihr Verhalten während der Lebensmittelverarbeitung und unter Magen-Darm-Bedingungen, die Migration von Nanopartikeln aus Lebensmittelkontaktmaterialien, der Einfluss der Partikelgröße auf die Bioverfügbarkeit sowie Verfahren zur Erfassung und Charakterisierung von Nanopartikeln in Lebensmitteln.

Wirtschaftliche Bedeutung – Unternehmenslandschaft

In Europa ist Deutschland die führende Nanotechnologie-Nation und belegt im weltweiten Vergleich bei der wirtschaftlichen Umsetzung Platz drei hinter den USA und Japan. Rund 950 Unternehmen [8] in Deutschland befassen sich in unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungskette mit der Entwicklung und Vermarktung nanotechnologischer Produkte, Verfahren und Dienstleistungen, Tendenz steigend. Der Anteil an innovativen kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) und *Start-ups* liegt bei etwa 80 %. Mehr als 60.000 Industriearbeitsplätze hängen in Deutschland von der Nanotechnologie ab. Im Jahr 2007 betrug der von in Deutschland ansässigen Unternehmen weltweit generierte Umsatz in der Nanotechnologie ca. 33 Mrd. Euro [9].

Deutsche Unternehmen sind Hersteller im Bereich Nanomaterialien, Nanotools, Nanoanalytik und Zubehör für den Betrieb von Nanotools (z. B. Vakuum- und Reinraumtechnik, Plasmaquellen etc.), Hersteller und Anwender nanooptimierter Komponenten und Systeme sowie Anbieter von Dienstleistungen im Bereich Beratung, Lohnbeschichtung, Technologietransfer, Auftragsanalytik und -forschung. Dabei sind fast alle bedeutenden Branchen vertreten: Optik, Elektronik, Bautechnik, Medizin/Pharma, Chemie, Textil, Maschinenbau, Sicherheitstechnik, Umwelttechnologie, Biotechnologie und Konsumenten-Produkte.

In der Regel haben die deutschen Unternehmen eine hohe Exportorientierung. Vor diesem Hintergrund sind Kooperationen für die meisten exportorientierten Firmen ein wichtiges Marktelement. Höchste Bedeutung hat hier der europäische Wirtschaftsraum, es folgen der nordamerikanische und der asiatische Raum. Auch findet Deutschland international hohe Anerkennung für die fundierte technologische wie infrastrukturelle Basis in der Nanotechnologie. Damit werden deutsche Unternehmen zu interessanten Partnern im Ausland, wobei das Interesse in einigen Fällen auch bis zu einer Ansiedlung in örtlicher Nähe zu den deutschen Kompetenzträgern reicht.

Die deutsche Nanotechnologie – Forschung und Entwicklung im internationalen Vergleich

Deutschland nimmt in der Nanotechnologie im internationalen Vergleich eine starke Position ein. Mit einer Förderung mit Bundesmitteln in Höhe von etwa 400 Mio. Euro im Jahr 2010 lag Deutschland an vierter Stelle hinter den USA, Russland und Japan. Auch bei wissenschaftlichen Publikationen belegt Deutschland Platz vier hinter USA, China und Japan. Im Vergleich internationaler Patente positioniert die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) Deutschland auf Platz drei hinter den USA und Japan [10].

In Europa ist Deutschland nicht nur mit Blick auf Förderung, Publikationen und Patente in der Nanotechnologie führend. Deutsche Partner waren auch im Wettbewerb um europäische Fördermittel sehr erfolgreich. Im 6. und den bisherigen Aufrufen des 7. EU-Forschungsrahmenprogramms rangieren deutsche Partner beim Anteil der ausgezahlten Fördermittel auf Platz eins. Dabei ist eine vergleichsweise hohe Beteiligung der deutschen Industrie an den Projekten zu verzeichnen, die regelmäßig über dem entsprechenden Durchschnittswert für die gesamte EU liegt.

Nanotechnologie – politische Verantwortung

Nanotechnologie ist aufgrund der vielseitigen Anwendungsfelder in verschiedenen Ressorts der Bundesregierung verankert. Dies erfordert ein abgestimmtes Vorgehen innerhalb der Bundesregierung, das die verschiedenen Aspekte in der Nanotechnologie von der Forschung über die wirtschaftliche Nutzung bis hin zum Verbraucher-, Umwelt- und Arbeitsschutz berücksichtigt, ohne zu Dopplungen zu führen oder Fragen offen zu lassen. Um die Koordination innerhalb der Bundesregierung zu gewährleisten, wurde ein Ressortkreis etabliert, der die Abstimmung und Zusammenarbeit sicherstellt.

In der inhaltlichen und strategischen Ausgestaltung der Förderaktivitäten hat sich in den letzten 20 Jahren ein deutlicher Wandel vollzogen. Während die ersten Nanotechnologieprojekte Ende der 1980er Jahre noch deutlich auf Grundlagen orientiert waren, wechselte die Ausrichtung in den letzten Jahren zu größerer Anwendungsnähe.

4 Forschung fördern – Wissens- und Technologietransfer intensivieren

4.1 Förderung der Nanotechnologie in Deutschland

In der Vergangenheit sind die öffentlichen Förderinvestitionen weltweit stetig angestiegen und belaufen sich mittlerweile auf über 4 Mrd. $ pro Jahr. Auch die Projektfördermittel des BMBF haben sich seit Anfang der 1990er Jahre mehr als verzehnfacht und betragen im Jahr 2010 etwa 200 Mio. Euro. Insgesamt wurden in Deutschland ca. 400 Mio. Euro Bundesmittel im Jahr 2010 zur Unterstützung nanotechnologischer Forschung und Entwicklung bereitgestellt.

Die privaten Investitionen in die Nanotechnologie betrugen in den Jahren 2004 bis 2006 in Europa 2,3 Mrd. Euro, etwa 33 % der europäischen Gesamtinvestitionen, in den USA 4,5 Mrd. Euro, etwa 54 % der amerikanischen Gesamtinvestitionen. In Japan wurden 3,6 Mrd. Euro, damit etwa 63 % der japanischen Gesamtausgaben für nanotechnologische Forschung und Entwicklung investiert [11].

Die Bundesregierung will die Spitzenstellung Deutschlands im Bereich der Schlüsseltechnologien festigen und fördert daher Forschung, Entwicklung sowie den Transfer der Erkenntnisse in die wirtschaftliche Nutzung. Im Vordergrund steht die intensive Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft. Folgende Instrumente sollen diese befördern:

- **Verbundprojekte,** welche dazu dienen, die Industrie, speziell auch KMU, mit der Wissenschaft zu vernetzen, den Zugang zu Geräten und Erkenntnissen der Hochtechnologieforschung zu ermöglichen und somit FuE-Ergebnisse auf kurzen Wegen in Anwendungen und Produkte zu transferieren.
- **Leitinnovationen,** strategisch angelegte Forschungskooperationen, die zur Sicherung und zum Ausbau bestehender Märkte sowie zur Erschließung neuer Wachstumsfelder eingesetzt werden.

- **Innovationsallianzen** als neues Instrument der Forschungs- und Innovationspolitik, das Wissenschaft, Wirtschaft und Politik auf bestimmten Anwendungsbereichen mit hohem zukünftigem Marktpotenzial zusammen führt. Innovationsallianzen sollen durch die strategisch angelegte Langfristperspektive der FuE-Entwicklungen und die vereinbarte Arbeits-, Zeit- und Finanzaufteilung maßgebliche volkswirtschaftliche Hebelwirkung entfalten.

- **Spitzencluster** fördern gezielt strategische Partnerschaften, in denen Unternehmen, wissenschaftliche Einrichtungen und weitere regionale Akteure gemeinsam daran arbeiten, Schlüsseltechnologien marktnah zu entwickeln. Ziel des Spitzencluster-Wettbewerbs ist es, Deutschlands Position unter den führenden Technologie-Nationen zu festigen und weiter auszubauen.

Innovationsallianzen im Bereich der Nanotechnologie:
Gemeinsam mit dem BMBF haben Wirtschaft und Wissenschaft fünf Innovationsallianzen im Bereich der Nanotechnologie gestartet: Organische Leuchtdioden (OLED), organische Photovoltaik (OPV), Inno.CNT, Molekulare Bildgebung und Lithium-Ionenbatterien. Damit wurden die richtigen Schwerpunkte gesetzt. Beispiel Klimaschutz und Energie: Die Allianzen leisten wesentliche Beiträge zur energieeffizienten Beleuchtung (OLED), zur Nutzung erneuerbarer Energien (OPV) und zur Speicherung von Energie (Lithium-Ionenbatterien). Dabei entfalten die Innovationsallianzen eine besondere Hebelwirkung: Allein im Rahmen der OLED- und OPV-Initiativen wurden mit 140 Mio. Euro des BMBF bereits fast eine Mrd. Euro auf Seiten der Wirtschaft bewegt. Die BMBF-Förderung legt damit die Basis dafür, die OLED- und OPV-Fertigung in Deutschland zu etablieren und Massenmärkte zu erschließen.

Der Spitzencluster „Forum Organic Electronics“ bündelt das Know-How von drei DAX-Unternehmen, mehreren Weltmarktführern, zwei Eliteuniversitäten und zahlreichen weiteren Partnern aus der Metropolregion Rhein-Neckar, um Deutschland an die Weltspitze bei der Entwicklung der Zukunftstechnologie Organische Elektronik zu führen. Hier entsteht eine neue Klasse von Funktionswerkstoffen, die zunächst im Bereich der Photonik – Leuchtmittel und Photovoltaik – Anwendungsmärkte erschließen.

4.2 Globale Herausforderungen – Ausrichtung der Forschungsförderung

Von den Anwendungen der Nanotechnologie werden wichtige Lösungsbeiträge zu den in der Hightech-Strategie der Bundesregierung beschriebenen globalen Herausforderungen Klima/Energie, Gesundheit/Ernährung, Mobilität, Sicherheit und Kommunikation erwartet. Die Forschungsförderung in der Nanotechnologie wird daher auf diese Themen ausgerichtet. Besonderes Augenmerk wird in diesem Zusammenhang auch durch das neue BMBF-Rahmenprogramm Schlüsseltechnologien auf die Nanotechnologie gerichtet.

4.2.1 Bedarfsfeld Klima/Energie

Eine Neuausrichtung der Energieversorgung, Ersatz für schwindende Ressourcen und steigende Anforderungen an den Klimaschutz gehören zu den dringlichsten Aufgaben der Zukunft. Nanotechnologien bieten ein großes Potenzial, um industrielle Prozesse auf allen Wertschöpfungsebenen zu etablieren, die deutlich weniger Rohstoffe und Energie verbrauchen. Bei der Förderung der Nanotechnologie haben Nachhaltigkeitsziele wie Energie- und Ressourceneffizienz, Sicherung von Rohstoffkreisläufen, Erhalt der Umweltqualität und Klimaschutz eine hohe Priorität. Ziel ist es zudem, den Einsatz spezieller Rohstoffe, z. B. seltener Metalle wie Indium, insgesamt zu reduzieren und auf lange Sicht zu ersetzen. Im Rahmen der geplanten Forschungsstrategie Bioökonomie können nanotechnologische Ansätze zur Nutzung biologischer Ressourcen eingebracht werden.

Nanotechnologie für eine höhere Energieeffizienz – Aktionen

Die Forschungsaktivitäten zielen auf die langfristige Erhöhung der Energieeffizienz und flankieren die Maßnahmen des Energieforschungsprogramms der Bundesregierung.

- **Nanomaterialien für adaptive Gebäudetechnik**
  40 % des Energieverbrauchs in Deutschland entfallen allein auf den Betrieb von Gebäuden. Eine höhere Energieeffizienz der Gebäude trägt somit maßgeblich zum Erreichen der energie- und klimapolitischen Zielsetzung bei. Neue, u. a. stark isolierende, brandsichere Dämmstoffe sowohl für die kostengünstige Sanierung des Altbestands als auch für den Neubau erlauben eine deutlich verbesserte Wärmeregulierung. Nanomaterialien sind Schlüssel bei der Entwicklung thermochromer Fassadenfarben, passiver und aktiver „Smart Glazing“-Verglasungen, Mikrospiegelarrays sowie schaltbarer Dämmstoffe oder Phasenwechselmaterialien als Latentwärmespeicher. Hohes Potenzial liegt zudem in der Verbesserung der Baustoffe und deren Zuschlagstoffen sowie bei der Anwendung neuer Konstruktionsmöglichkeiten.

- **Nanomaterialien für eine dezentrale Energieversorgung**
  Erneuerbare Energiequellen stellen die Energieversorger vor neue Herausforderungen: Die Energieerzeugung ist nicht kontinuierlich. Notwendig sind also Maßnahmen, die zuverlässig eine gleichmäßige und bedarfsgerechte Einspeisung ins existierende Stromnetz gewährleisten. Dies erfordert u. a. eine robuste und effiziente Energiespeicherung vornehmlich im Elektrizitäts- aber auch im Wärme- bzw. Kältebereich. Nanotechnologie ermöglicht insbesondere die Entwicklung neuer Materialien und Werkstoffe zur Etablierung neuer Speichersysteme.

Nanotechnologien zur Adaption an klimatische Veränderungen – Aktionen

Bereits heute sind wetterbedingte Extremereignisse wie Flutkatastrophen, Dürreperioden, Hitzewellen und Wirbelstürme für mehr als 75 % der Naturkatastrophen verantwortlich. Diese in Teilen vom Menschen verursachten Veränderungen der Umwelt werden sich auch durch ambitionierten Klimaschutz nicht einfach zurückentwickeln lassen. Unter dem Stichwort Adaption werden technologische Ansätze erarbeitet, um sich auf extremere Umweltbedingungen einzustellen. Nanomaterialien können aufgrund ihrer besonderen Materialeigenschaften einen wichtigen Beitrag dazu leisten. Beispiele sind Filtermaterialien oder modifizierte Geotextilien zur Erhöhung des Wasserrückhaltevermögens in vielfältigen Anwendungen, z. B. als Präventionsmaßnahme zur Verstärkung von See- und Flussdeichen oder im Landschaftsbau.

- **Entwicklung von Filtertechniken:**
  Häufigere und intensive Starkregenereignisse bergen die Gefahr der Vermischung von Wasser unterschiedlicher Qualität. Deshalb sind verbesserte Filtertechniken von wachsender Bedeutung. Es zeigt sich bereits, dass die Nanotechnologie auch hier mithilfe katalytischer Prozesse verbesserte Dienste leisten kann. Ein zweiter wichtiger Einsatzbereich liegt in der Entsalzung von Meerwasser.

- **Verbesserung der Hygiene:**
  Steigende Temperaturen können Probleme der Hygiene entstehen oder größer werden lassen. Auch für die Gewährleistung von Hygieneanforderungen können Filtertechniken genutzt werden.

Umwelt- und Ressourcenschutz – Aktionen

Die Bundesregierung adressiert im Rahmen der Hightech-Strategie das Themenfeld Umwelt- und Ressourcenschutz als Bestandteil des Bedarfsfelds Klima/Energie.

Nanotechnologieentwicklungen können in verschiedenster Weise mit positiven Effekten für den Umwelt- und Ressourcenschutz verbunden sein. Hier setzt die Bundesregierung mit ihrer Förderung an:

- **NanoNature:** Nanotechnologien für den Umweltschutz – **Nutzen** und Auswirkungen.
  Mit dem Förderprogramm NanoNature werden Nanotechnologie-basierte Technologieentwicklungen im Umweltschutz gefördert, wie Verfahren zur Gewässer- und Luftreinigung, Bodensanierung und Trinkwasseraufbereitung. Weitere Schwerpunkte sind Verfahren zur Produktaufbereitung, Wertstoffrückgewinnung und umweltschonende Trennprozesse sowie Verfahren zur Verringerung von Stoffeinträgen in die Umwelt durch katalytische Verfahren und Trennprozesse.

- **Materialeffizienz, Substitution knapper Rohstoffe und Recycling**
  Der Ersatz und die Einsparung seltener Rohstoffe in weit verbreiteten Produkten wie z. B. (Edel-)metallen in Katalysatoren oder Elektronikprodukten durch nanotechnologisch geprägte Werkstoffe ist ein wichtiges Entwicklungsziel. Besonders Hochtechnologie-Produkte sind von der Verfügbarkeit kritischer Elemente abhängig, die meist auf nur wenige Lagerstätten in zum Teil unsicheren Regionen der Erde verteilt sind. Ziel ist daher, Materialflüsse zu verstärken, stoffliche Alternativen zu suchen sowie Ressourcen sparsam und effizient zu nutzen. Der Einsatz von Nanotechnologien kann durch Substitution etablierter Werkstoffe erheblich zur Materialeffizienz beitragen. Materialeffizienteres Recycling am Produktlebensende kann durch neue Fügetechniken (z. B. Nanokleben) zerstörungsfrei erfolgen. In der chemischen Industrie können neue Nanokatalysatoren Grundlage für alternative Reaktionspfade sein, die bei niedrigeren Temperaturen energiesparender verlaufen und durch ihre Selektivität (geringe Mengen von Nebenprodukten) einen optimalen Stoffeinsatz ermöglichen. Völlig neue Rohstoffquellen, etwa neue Biokunststoffe, haben das Potenzial, als umweltverträgliche Werkstoffe, z. B. im Automobilbau, konventionelle Polymere oder sogar Metalle ersetzen zu können. Sie werden aus nachwachsenden Rohstoffen produziert und zeichnen sich nicht nur durch eine annähernd neutrale CO_2-Bilanz aus, sondern führen auch zu zunehmender Unabhängigkeit von erdölbasierten Rohstoffen.

- **Kohlenstoffnanomaterialien – Substitution und Materialeffizienz**
  Kohlenstoffnanoröhren (Carbo Nanotubes – CNT) spielen in der Entwicklung neuer Materialien eine wichtiger werdende Rolle. Kern der deutschen Aktivitäten ist die Innovationsallianz „Kohlenstoffnanomaterialien erobern Märkte – Inno.CNT“, die 2008 gestartet wurde. Im Rahmen dieser Allianz werden die grundlegenden

Arbeiten und Anwendungsprojekte mit begleitenden Untersuchungen zur Auswirkung der CNT auf Mensch und Umwelt kombiniert. In der Zukunft wird die Allianz solche Ziele adressieren, die maßgebliche Beiträge zur Ressourcenschonung leisten werden: So etwa der Ersatz bzw. die Reduktion von Indium in Indiumzinnoxid (ITO) für die Herstellung transparenter Elektroden z. B. in Flüssigkristallbildschirmen oder organischen Leuchtdioden, der Ersatz von leitfähigen Substanzen (z. B. Leitsilber) oder die Verwendung als Katalysator (Ersatz von Platin oder anderen Katalysator-Metallen) und die Verstärkung von Werkstoffen durch CNT für Leichtbauanwendungen (Reduktion des Materialeinsatzes bei gleicher Belastbarkeit). Auch diese Arbeiten sollen mit Untersuchungen zu Auswirkungen der CNT auf den Menschen begleitet werden.

- **Verschleißarme und umweltverträgliche Friktionswerkstoffe**
  Die Wirkung vieler technischer Systeme, wie z. B. Bremsen, Kupplungen, Walzen, beruht auf der Reibung ungeschmierter Kontaktflächen. Die Optimierung des Reibkontaktes hat zum Einsatz komplex aufgebauter Verbundwerkstoffe geführt. Nanotechnologische Konzepte beim Design solcher Werkstoffe tragen dazu bei, wünschenswerte Reibeigenschaften wie Bremswirkung und Verschleißminimierung zu verbessern. Wichtige Ziele bei der Entwicklung umweltfreundlicherer Friktionswerkstoffe sind neben der Verschleißminimierung eine bessere Kontrolle der Materialbestandteile, die Substitution umweltschädlicher Inhaltsstoffe sowie Konzepte zur Vermeidung nanopartikulärer Emissionen.

- **Neue Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft**
  Zu den globalen Herausforderungen im 21. Jahrhundert gehört eine nachhaltige Versorgung mit Trink- und Brauchwasser, die Reduktion der Wasserverschmutzung und Sicherung der Wasserkreisläufe. Technologische Lösungen mit materialspezifischen Ansätzen spielen entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Wassergewinnung, dem Transport und der Verteilung bis zur Entsorgung, Reinigung und Aufbereitung eine zentrale Rolle. Hier besteht hoher Forschungsbedarf in der Entwicklung von effizienten Nano-Filtrationsmembranen sowie von neuen und umweltfreundlichen Reagenzien und Katalysatoren. Auch im Bereich der adsorptiven Verfahren werden Nanomaterialien zunehmend Einsatz finden.

- **Förderaktivität „Nano geht in die Produktion“**
  Nanotechnologie wird in den Produktionstechnologien dazu beitragen, leistungsfähigere, ressourcenschonende Produkte prozesssicher, wirtschaftlich und umweltschonend herzustellen. Dafür werden entlang der gesamten Wertschöpfungskette effiziente industrielle Verfahren und Ausrüstungen entwickelt, mit denen die Eigenschaften von nanoskaligen Partikeln, Fasern oder Schichten und ihre Wechselwirkungen untereinander sowie mit anderen Materialien kontrolliert und eingestellt werden können. Im Fokus stehen die umweltschonende, staubfreie Herstellung nanoskaliger Partikel, die Verarbeitung in Matrixwerkstoffen, die Beschichtung von Oberflächen sowie eine zuverlässige Online-Analytik.

- **Neue und sichere Bauteile durch multiskalige Simulation**
  Neue Simulationsstrategien erlauben neue Einblicke in die Struktur der Materie und der daraus resultierenden Eigenschaften. Mit der Multiskalensimulation lassen sich die elektronischen Ursachen des Materialverhaltens auf atomarer Ebene und das Zusammenwirken komplexer Prozesse auf der molekularen Ebene bestimmen, um damit auf makroskopischer Ebene das Verhalten von Bauteilen im Einsatz zu verstehen und vorherzusagen. Erst die Kenntnisse der Vorgänge auf der atomaren und molekularen, d. h. nanotechnologischen Ebene bilden die Grundlage zur Verbesserung von Produktionsprozessen und Produkteigenschaften. Somit kann die Multiskalensimulation das Verständnis der hochdynamischen Wechselwirkungen der Nanobene mit den anderen Systemebenen wesentlich verbessern und zu einer schnelleren, effizienteren und zielgerichteten Produktentwicklung beitragen.

- **Untersuchung von Umweltentlastungspotenzialen**
  Der Einsatz der Nanotechnologie verspricht eine effizientere Nutzung von Rohstoffen und Energie im Lebensweg eines Produktes und so den verringerten Ausstoß von Schadstoffen bzw. reduzierten Energieverbrauch. Für die Untersuchung tatsächlicher Umweltentlastungspotenziale bei konkreten Produkten soll eine allgemein anerkannte Bewertungsmatrix erarbeitet werden. Diese soll den gesamten Lebenszyklus einbeziehen und in Form einer systematisch angelegten Chancen-Risiko-Abwägung vorhandene Innovationspotenziale nanotechnischer Anwendungen für eine nachhaltige Entwicklung analysieren und bewerten.

4.2.2 Bedarfsfeld Gesundheit/Ernährung und Landwirtschaft

Gesundheit

Die neuen Möglichkeiten der Nanotechnologie setzen wichtige Impulse für eine bessere Diagnostik und Behandlung von Krankheiten. Neue Entwicklungen mit Hilfe nanotechnologischer Verfahren für Diagnose und Therapie können in Fördermaßnahmen des Rahmenprogramms Gesundheitsforschung der Bundesregierung bis in die frühe klinische Untersuchung gebracht werden.

Aktionen

- **Molekulare Bildgebung**
  Neue Diagnostika und bildgebende Verfahren für Klinik und Arzneimittelentwicklung sind Ziel der Innovationsallianz zur Molekularen Bildgebung. Im Fokus der Allianz steht der Nachweis biologischer Prozesse auf molekularer bzw. zellulärer Ebene, um Erkrankungen im Frühstadium erkennen, besser diagnostizieren und gezielter therapieren zu können. Neben der Bedeutung von Nanopartikeln bei der Entwicklung neuartiger Kontrastmittel für die molekulare Bildgebung, können sie als diagnostische Sensoren oder auch zu Therapiezwecken eingesetzt werden. In ersten Zügen zeichnen sich hier bereits integrierte Konzepte von Diagnose und Therapie, die Theranostik, ab. Die Bundesregierung will damit die anwendungsorientierte Forschung in der molekularen Bildgebung stärken und einen Beitrag zu einer frühzeitigen Erkennung und gezielteren Behandlung von Krankheiten leisten.

- **Maßgeschneiderte Therapien und Nanomedizin**
  Die Forschung an neuen (bio-)pharmazeutischen Wirkstoffen wird weltweit intensiv voran getrieben. Hoch wirksam und hoch spezifisch, sind diese Substanzen teilweise auf ausgewählte Patientengruppen „maßgeschneidert“ und markieren damit perspektivisch den Trend zu personalisierten Therapeutika. Um das Potenzial neuer Wirkstoffe in vollem Umfang nutzen zu können, sind neue Applikationssysteme (so genannte Drug-Delivery-Systeme) erforderlich, die Wirkstoffe in ausreichend hoher Dosis kontrolliert an einem festgelegten Wirkort abgeben können. Von den Fortschritten in der Nano- und Werkstofftechnologie werden wichtige Impulse für die Entwicklung verbesserter Injektoren, Inhalatoren und anderer Applikatorsysteme ausgehen. Ein herausragendes Innovationsfeld auf diesem Gebiet stellen Medizinprodukte-Arzneimittel-Kombinationen dar, wie z. B. wirkstoffbeschichtete Gefäßstützen. Nanotechnologien finden hier insbesondere ihren Einsatz als Beschichtungen und Matrizes zur Kontrolle der Wirkstofffreisetzung.

- **Personalisierte Implantate und Prothesen für die Langzeitrehabilitation**
  Die demographische Entwicklung rückt altersbedingte Erkrankungen verstärkt in den Fokus der Gesundheitsforschung. Implantate sind für muskuloskelettale Erkrankungen und zunehmend auch für beeinträchtigte Organfunktionen das Rückgrat der rehabilitativen Medizin. Nanotechnologie kann auf diesem Gebiet maßgeblich zur Steigerung der Funktionalität des Implantats und dessen Verträglichkeit im Kontakt mit dem menschlichen Gewebe beitragen, da die Wechselwirkung von Implantaten mit der biologischen Umgebung maßgeblich auf der Nanoskala stattfindet.

- **Regenerative Medizin und nanostrukturierte Biomaterialien**
  Innovative Biomaterialien und deren Prozessierung können einen entscheidenden Beitrag für die breitere klinische Anwendung der regenerativen Medizin leisten. Bislang existieren noch keine geeigneten künstlichen dreidimensionalen Trägerstrukturen, die die Bindegewebsstrukturen von Organen hinreichend nachbilden und die Durchblutung gewährleisten. Hierzu bedarf es maßgeschneiderter nanostrukturierter Biomaterialien und Verfahren zu deren Prozessierung.
  Die Biotechnologie ist in der Lage, biologischen Ersatz für geschädigte Gewebe und in ferner Zukunft möglicherweise für ganze Organe bereitzustellen. Zukunftsthemen sind hier neben der Gewinnung von geeignetem Zellmaterial die Entwicklung praxistauglicher Kultursysteme. Nanotechnologien und Nanoprozesstechnik sind maßgeblich für den Fortschritt in diesem Gebiet erforderlich.

Ernährung und Landwirtschaft

Agrar- und Ernährungswirtschaft können in zunehmendem Maße von Nanotechnologie-Innovationen profitieren, die großteils im Vorleistungsbereich (z. B. Maschinenbau, Elektronik, Pharmazie) erbracht werden. Im Rahmen ihrer Ressortforschung (Bundesinstitut für Risikobewertung, Max-Rubner-Institut, u. a.) finanziert die Bundesregierung zudem Begleit- und Sicherheitsforschung zum verantwortungsvollen Einsatz der Nanotechnologie im Agrar- und Ernährungsbereich.

Aktionen

Forschungsbedarf zeichnet sich in folgenden Bereichen ab:

- **Einsatz der Nanotechnologie im Pflanzenschutz zur Erhöhung der Effizienz, Reduzierung von Wirkstoffmengen und der Verbesserung der Formulierung von Agrochemikalien. Steuerbare Trägersysteme für eine gezielte Freilassung von Wirkstoffen zu definierten physikalischen oder chemischen Einwirkungen (z. B. pH-Wert, UV-Bestrahlung, Enzyme), Folgenabschätzung von Nanomaterialien für eine kontrollierte Anwendung in der Landwirtschaft (Risikobewertung der chemischen, physikalischen und ökotoxikologischen Eigenschaften der Wirk- und Trägerstoffe und des Eintrages in den Naturhaushalt sowie der Rohstoffflüsse)**
- **Einsatz der Nanotechnologie für schnellere, preiswerte und präzise Diagnoseverfahren bei Tier- und Pflanzenkrankheiten**
- **Analysemethoden zum Nachweis und zur Quantifizierung von nanoskaligen Lebensmittelzutaten**
- **Einsatz leicht zu reinigender nanobeschichteter Oberflächen bei Lebensmittellagerung, transport und -verarbeitung**
- **Einsatz der Nanotechnologie für funktionelle Lebensmittelverpackungen**
- **Einsatz der Nanotechnologie zur Erhöhung der Bioverfügbarkeit von erwünschten Lebensmittelzutaten**
- **Motoren- und Getriebeentwicklung unter Berücksichtigung der hohen Leistungsanforderungen in der Landwirtschaft**
- **Entwicklung neuartiger Konzepte entlang der Wertschöpfungskette Strom zur Verknüpfung der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien und der Nutzung der Elektrizität in der Landwirtschaft**

4.2.3 Bedarfsfeld Mobilität

Nanotechnologie hat im Automobilsektor bereits in der Vergangenheit wichtige Beiträge zu Sicherheit, Nachhaltigkeit und Komfort geleistet. Heutiges zentrales Anwendungsfeld der Nanotechnologie in der Mobilität ist die Elektromobilität. Die Bundesregierung hat mit dem „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ und dem 500-Millionen-Euro-Förderprogramm im Rahmen des Konjunkturpakets II die Weichen für den Weg zu einer modernen, nachhaltigen Mobilität gestellt. Im Rahmen der Nationalen Plattform Elektromobilität, die am 3. Mai 2010 gegründet wurde, soll in konzertierter Zusammenarbeit von Politik, Industrie und Wissenschaft, Kommunen sowie den Verbrauchern eine tragfähige Strategie von der Grundlagenforschung bis hin zur Markteinführung entwickelt und vorangebracht werden. Grundlage dazu ist der Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität. Die Bundesregierung hat zudem die „Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität“ (GGEMO) eingerichtet. Um das Ziel, Deutschland

bis 2020 zu einem Leitmarkt für Elektromobilität zu machen, erreichen zu können, sind heute Investitionen in Forschung und Entwicklung, so auch in die Nanotechnologie, notwendig. Nur so wird es gelingen, in den kommenden Jahren marktfähige Komponenten und Systeme sowie die zugehörige Infrastruktur zu schaffen.

Aktionen

- **Nanotechnologie für kostengünstige und ressourcensparende Mobilität**
  Nanotechnologie kann durch die Breite ihrer Anwendungsmöglichkeiten entscheidend zur Kostenreduzierung bei gleichzeitiger Steigerung von Zuverlässigkeit der technischen Bauteile und verbesserter Umweltverträglichkeit in der Mobilität beitragen. Nanotechnologie führt zu Innovationen im Bereich der Energieeffizienz als auch im Bereich von Sicherheit und Komfort. Nanotechnik filtert und reinigt Abgase, vergrößert katalytische Oberflächen bei geringem Edelmetalleinsatz, sorgt in Einspritzsystemen und als Beschichtung von Zylinderlaufbahnen für effizientere Motoren. Um im internationalen Wettbewerb zu bestehen, muss die komplette Funktionalität eines heutigen Kraftfahrzeugs kostengünstiger und ressourcenschonender bereitgestellt werden.
- **Nanotechnologie für die Elektromobilität**
  Effiziente Energiespeicherung ist der Kern der Elektromobilität. Nanotechnologie und Nanomaterialien leisten maßgebliche technologische Beiträge, heute existierende Hürden zu überwinden. Erheblicher Forschungsbedarf besteht in der Batterietechnologie und der Netzintegration für Elektrofahrzeuge sowie für mobile Maschinen und Geräte. Neue Anwendungen der Nanotechnologie liegen insbesondere im Bereich der Elektroden- und Leitermaterialien mit dem Ziel, die Energiedichte zu vergrößern, Ladezeiten zu verringern sowie Zuverlässigkeit und Lebensdauer zu erhöhen. Nicht zuletzt soll Nanotechnologie bei der Massenfertigung der Batteriezellen helfen, den sehr hohen Qualitätsstandards in Bezug auf Funktion und Gleichmäßigkeit zu genügen. Nanomaterialien sind zudem bei Superkondensatoren, wie sie zukünftig in Hybrid- und Elektrofahrzeugen zur Anwendung kommen werden, von Bedeutung. Auch für den Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen kann Nanotechnologie den Weg ebnen, insbesondere durch die Entwicklung von effektiven Speichermethoden für den als Brennstoff verwendeten Wasserstoff.

- **Nanomaterialien für die intelligente Straße**
  Für eine integrierte und nachhaltige Verkehrspolitik sind leistungsfähige Verkehrsträger und die entsprechende Verkehrsinfrastruktur von großer Bedeutung. Dazu gehört die Entwicklung innovativer Technologien und Materialien für Erhalt, Sanierung und Neubau der Verkehrswege und -einrichtungen wie u. a. Straßen, Brücken und Schienenwege. Nanomaterialien sollen es ermöglichen, unter wirtschaftlich realistischen Rahmenbedingungen Straßen und andere Verkehrsinfrastrukturen mit neuen Funktionen ausstatten zu können. Dazu gehören zum Beispiel lärmmindernde Eigenschaften oder die Integration von Sensorsystemen für Road-to-Car-Kommunikation.

4.2.4 Bedarfsfeld Kommunikation

Im Nano-Bereich werden in der Physik neue quantenphysikalische Effekte beobachtet, die genutzt werden können, um Quantencomputer zu entwickeln. Quantenkommunikation bietet einen völlig neuen und aus grundlegenden physikalischen Prinzipien inhärent absolut sicheren Zugang zur Übertragung von Information.

Aktionen

- **Quantenkommunikation als Basis für abhörsichere Kommunikation**
  Die Bundesregierung fördert Untersuchungen zu den wissenschaftlichen Grundlagen der Quantenkommunikation, die inhärent sichere Datenübertragung in zukünftigen Telekommunikationsnetzen bietet. Um eine Übertragung über große Strecken zu ermöglichen, muss die Quanteninformation nach einer gewissen Übertragungsdistanz wieder so aufgearbeitet werden, dass eine weitere Übermittlung verlässlich möglich wird. Für diesen Schritt ist die Entwicklung einer völlig neuartigen Komponente, des so genannten Quantenrepeaters, erforderlich. Für die Realisierung dieser Komponenten sollen nanotechnologisch kontrollierte Systeme

wie Atome, Ionen oder Halbleiterstrukturen eingesetzt werden. Besonderes Augenmerk soll auf die Verwendung neuer Materialien mit vielversprechenden Kohärenzeigenschaften gelegt werden, wie z. B. Graphen oder Farbzentren in Diamant.

- **Organische oder Druckbare Elektronik**
  Nicht mehr das unflexible und aufwändig fotolithografisch zu prozessierende Ausgangsmaterial Silizium bildet die Grundlage dieser neuen nachhaltigen Elektronik, sondern organische Moleküle oder nanopartikuläre Systeme, die sich einfach und kosteneffizient verdrucken oder aufdampfen lassen. Auf diese Weise werden sehr großflächige Anwendungen, z. B. Beleuchtungen, Displays auf Basis von Organischen Leuchtdioden oder organische Photovoltaik-Module, aber auch solche auf beliebig geformten oder flexiblen Substraten realisierbar. Nanotechnologie spielt für die gedruckte Elektronik in mehrerer Hinsicht eine herausragende Rolle. So fußen großflächige Anwendungen wie Organische Leuchtdioden oder Photovoltaiken auf der präzisen Abscheidung nanometerdicker Mehrfachschichten. Ferner erfordert das Verdrucken von organischen Molekülen oder Nanopartikeln neue Konzepte für maßgeschneiderte Pasten, Tinten und andere drucktechnische Formulierungen.

4.2.5 Bedarfsfeld Sicherheit

Der Schutz der Bürgerinnen und Bürger vor vielfältigen Bedrohungen wie Naturkatastrophen, technischen Großunfällen, aber auch dem weltweit zunehmenden Terrorismus ist ein wichtiges Ziel der Bundesregierung. Mit der globalen Vernetzung terroristischer und krimineller Aktivitäten sowie der Erhöhung ziviler Sicherheitsanforderungen, z. B. bei der Sicherung internationaler Transport- und Warenketten, zeichnet sich ein erhöhter Bedarf an technologischen Sicherheitsprodukten ab. Damit zeigt sich auch das gestiegene gesellschaftliche Sicherheitsbedürfnis.

Neben dem Schutz vor Gefahren und der Schaffung sicherer Standortbedingungen bieten sicherheitstechnische Produkte und Dienstleistungen auch Chancen für die Wirtschaft. Allein im Jahr 2008 betrug laut einer vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie in Auftrag gegebenen Studie in Deutschland das Marktvolumen sicherheitstechnischer Produkte und Dienstleistungen rund 20 Milliarden Euro. Das Wachstums- und Wertschöpfungspotenzial für deutsche Unternehmen auf dem Weltmarkt ist vielversprechend. Da die Wirksamkeit sicherheitstechnischer Maßnahmen und Produkte die Realisierung eines Technologievorsprunges voraussetzt, kann Nanotechnologie im Bereich nanoskaliger Funktionsmaterialien einen Beitrag zur Verbesserung zukünftiger Sicherheitsanwendungen leisten.

Aktionen

- **Dokumentenschutz und Produktsicherheit durch Produktidentifizierungs- und Markierungssysteme zur Erzeugung optischer Sicherheitsmerkmale**
  Haupttriebfeder für den Bereich Dokumentensicherheit und Produktschutz sind insbesondere die durch Produktpiraterie bzw. -fälschung im Handel verursachten Schäden, die sich weltweit auf geschätzte 600 Mrd. $ pro Jahr belaufen. Das Spektrum der Produktfälschungen reicht dabei von hochwertigen Konsumgütern, über Sicherheitsdokumente und Währungen bis hin zu pharmazeutischen Produkten oder Automobil- und Flugzeugersatzteilen. Daher wurde eine Reihe von Produktidentifizierungs- und Markierungssystemen erarbeitet, die auf dem Einsatz nano- oder nanobiotechnologischer Materialien, wie z. B. fluoreszierender Nanopartikel, oder nanoskaliger Strukturierungsverfahren basieren und auch zur Erzeugung optischer Sicherheitsmerkmale genutzt werden. Daneben eignen sich auch biologische Materialien, die beispielsweise in Form von Sicherheitstinten für den Kopier- und Fälschungsschutz von Sicherheitsdokumenten eingesetzt werden.

- **Entwicklung nanotechnologischer Materialien für die Bewältigung potenzieller Folgen von Großunfällen**
  Dekontaminations- und Filtertechnologien für den Schutz kritischer Infrastrukturen und technischer Anlagen zählen zu den viel versprechenden Anwendungsfeldern mit Marktpotenzial. Gerade im Bereich des Bevölkerungs- und Katastrophenschutzes stellen sich hier zahlreiche neue Herausforderungen z. B. bei der Bewältigung potenzieller Folgen von durch Terroranschläge oder Großunfälle freigesetzten chemischen, biologischen oder nuklearen Gefahrstoffen. Aufbauend auf vorhandenen Verfahren der chemischen Nanotechnologie, die die Herstellung sich selbst reinigender nanostrukturierter Oberflächen und die Integration katalytisch aktiver Nanopartikel in maßgeschneiderten multifunktionalen Beschichtungssystemen ermöglichen, werden verbesserte Dekontaminationstechnologien mit höherer Langzeitstabilität und breiterem Einsatzspektrum entwickelt. Damit wird u. a. der Abbau von chemischen Gefahrstoffen bzw. die Inaktivierung biologischer Agenzien ermöglicht.

- **Entwicklung schuss- und stichfester nanoskaliger Materialien für Schutzsysteme von Polizei und Rettungskräften**
  Ein ebenfalls zukunftsträchtiges Feld sicherheitstechnischer Anwendungen liegt in der Entwicklung von integrierten Schutzsystemen für den Schutz von Polizei- und Rettungskräften vor Gefahrstoffen, Explosions- und Brandauswirkungen sowie Projektilen. Hier steht die Entwicklung schuss- und stichfester Textilen beispielsweise aus polymeren Nanokompositen im Vordergrund. Materialtechnische Ansätze werden hier in der Verwendung besonders zug- und stoßfester CNT-Fasern oder so genannter dilatanter oder scherverdickender Nanofluide in Schutzwesten sowie in der Entwicklung chemikalien- oder hitzeresistenter Kleidung mit selbstheilenden Eigenschaften gesehen.

5 Wettbewerbsfähigkeit am Standort Deutschland sichern

Als Treiber von Innovationen trägt die Industrie erheblich zu Wachstum und Beschäftigung bei. Gemessen am Beitrag zur gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung hat in Deutschland die Industrie traditionell mehr Gewicht als in anderen großen westlichen Industriestaaten. Auf den globalisierten Märkten ist die industrielle Produktion aber immer mehr das Ergebnis internationaler Wertschöpfungsketten. Damit deutsche Märkte im Wettbewerb um wichtige Stufen dieser Wertschöpfung bestehen können, sind forschungsintensive Güter unerlässlich. Das deutsche Verarbeitende Gewerbe zeichnet sich zwar durch einen ausgesprochen hohen Anteil wissensintensiver Güter aus, muss jedoch seine Wettbewerbsfähigkeit kontinuierlich durch Innovationen unter Beweis stellen. Schlüsseltechnologien wie die Nanotechnologie können die Entwicklung solch innovativer Produkte und Verfahren entscheidend beflügeln.

5.1 Aufbau von Wertschöpfungsketten – der Produktionsstandort Deutschland

Die deutsche Unternehmenslandschaft in der Nanotechnologie ist bereits jetzt sehr breit aufgestellt. Dies betrifft ihre thematische Ausrichtung sowie die Positionierung innerhalb der Wertschöpfungskette. Für eine beschleunigte Umsetzung von Forschungsergebnissen in die wirtschaftliche Praxis ist daher eine starke Orientierung der Forschungsförderung an den branchenspezifischen Problemstellungen und Bedarfen notwendig.

Aktionen

- **Branchendialoge**
  In der Vergangenheit hat die Bundesregierung durch branchenspezifische Förderaktivitäten dazu beigetragen, dass die Potenziale der Nanotechnologie nicht nur im Bereich der Hochtechnologie sondern auch in klassischen Industriezweigen, wie zum Beispiel dem Bausektor oder der Textilindustrie, nutzbar gemacht werden. Vorbereitet wurden diese Maßnahmen durch Branchendialoge, mit denen auch speziell KMU in den jeweiligen Branchen adressiert wurden. Zukünftig soll im Zentrum der Dialoge die Anwendung der Nanotechnologie für die Bedarfsfelder der Hightech-Strategie stehen. Dabei sollen zunächst die Bereiche Umwelt und Energie adressiert werden. Neben den technologischen Fragestellungen spielen auch Faktoren wie Skalierbarkeit, Anpassung an bestehende Technologielösungen, Preis, Servicefähigkeit sowie Lösungen im Rahmen der bestehenden Regulierung eine besondere Rolle. Diese Branchendialoge werden in enger Kooperation mit Industrieverbänden, Innovationsclustern auf Landesebene sowie regionalen Wirtschaftsförderern wie Industrie- und Handelskammern durchgeführt.

5.2 KMU-Förderung

KMU repräsentieren nicht nur rund 70 % aller Industriearbeitsplätze in Deutschland, sie sind auch in vielen Bereichen Vorreiter des technologischen Fortschritts. Bei rund 80 % der Nanotechnologieunternehmen handelt es sich um KMU und *Start-up*-Unternehmen, 70 % wurden erst nach 1985 gegründet. Sie sind als Anbieter von nanooptimierten Komponenten, maßgeschneiderten Systemlösungen oder Dienstleistungen ein wichtiges Bindeglied zwischen angewandter Forschung und Produkt- und/oder Anwendungsentwicklung. Im Zeichen eines sich verschärfenden internationalen Wettbewerbes sind allerdings die mit Spitzenforschung verbundenen Risiken und finanziellen Aufwendungen für KMU häufig schwer zu schultern. Durch gezielte Maßnahmen der KMU-Förderung unterstützt die Bundesregierung das Engagement innovativer KMU im Bereich der Nanotechnologie, um ihnen den Weg von einer potenzialträchtigen Technologieentwicklung bis zu einer erfolgreichen kommerziellen Vermarktung zu vereinfachen. Dazu wurden spezifische Aktivitäten für Nanotechnologie-Unternehmen eingerichtet. Zudem adressieren auch technologie-offene Maßnahmen mittelständische Unternehmen, die in der Nanotechnologie aktiv sind.

Nanotechnologie-spezifische Aktionen

- **KMU-innovativ Nanotechnologie – NanoChance**
  Die gezielt auf KMU ausgerichtete Förderaktivität **KMU-innovativ Nanotechnologie – NanoChance** soll die Innovationspotenziale von KMU im Bereich der Nanotechnologie besser erschließen und KMU bei ihrer Etablierung im Markt für Nanotechnologien unterstützen. Um KMU die Teilnahme an dem Förderprogramm zu erleichtern, hat das BMBF das Antrags- und Bewilligungsverfahren insbesondere für erstantragstellende KMU vereinfacht und beschleunigt sowie die Beratungsleistungen ausgebaut. KMU-innovativ Nanotechnologie soll die industrielle Basis im Bereich der Nanotechnologie stärken.

Technologie-offene Aktionen

- **Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)**
  Das ZIM bietet kleinen und mittleren Unternehmen Unterstützung bei ihren Innovationsaktivitäten. Das speziell auf den Bedarf von KMU zugeschnittene Förderprogramm hat zum Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen zu verbessern. Gefördert werden im Rahmen von Einzel- oder Kooperationsprojekten Forschung und Entwicklung mit dem Ziel neuer technologischer Produkte und verbesserter Verfahren. Wichtiges Element ist hier der Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Unternehmen. Darüber hinaus werden im ZIM auch die Bildung und das Management von Netzwerken innovativer KMU unterstützt. In dem technologie- und branchenoffenen ZIM spielt die Nanotechnologie eine zunehmende Rolle.

- **EUREKA-Programm Eurostars**
  Der Einstieg in die internationale Zusammenarbeit in Forschung und Entwicklung und der Zugang zu internationalen Märkten soll mit dem europäischen Programm Eurostars erleichtert werden, an dem die Bundesregierung über das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) beteiligt ist.

5.3 Gründerfinanzierung und Gründungsbedingungen

Junge, wissensbasierte Unternehmen schließen die Innovationslücke zwischen akademischer Forschung und industrieller Anwendung. Gerade in den forschungsintensiven Unternehmen der Nanotechnologie haben sie große Bedeutung. Die hinreichende Finanzierung ist hier unerlässliche Vorrausetzung; Finanzierungsbeschränkungen gehören zu den größten Hürden im Innovationsprozess. Die Bundesregierung hat vor diesem Hintergrund ein Bündel von Maßnahmen ergriffen, um die Gründungs- und Wachstumsdynamik innovativer Jungunternehmen in Deutschland zu stärken. Die Aktivitäten sind Technologie-offen, haben aber insgesamt Nanotechnologie-Bezug.

Aktionen

- **Validierungsförderung**
  Mit der Validierungsförderung [12] sollen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der akademischen Forschung unterstützt werden, frühzeitig ihre Forschungsergebnisse auf technische Umsetzbarkeit, Erschließung neuer Anwendungsbereiche sowie wirtschaftliche Potenziale zu überprüfen. Durch diese Brücke zwischen akademischer Forschung und wirtschaftlicher Anwendung wird die Voraussetzung für eine erfolgreiche Weiterentwicklung zu innovativen technologiebasierten Produkten, Prozessen oder Dienstleistungen geschaffen. Im Anschluss an das Validierungsprojekt stehen neben der Unternehmensgründung auch alle weiteren Verwertungswege offen.

- **High-Tech Gründerfonds**
  Der High-Tech Gründerfonds (HTGF) investiert Risikokapital in junge, chancenreiche Technologieunternehmen. Er stellt das dringend nötige Startkapital (Beteiligungskapital in einer ersten Finanzierungsrunde bis zu 500.000 Euro, insgesamt max. 1 Mio. Euro je Unternehmen) bereit und sorgt für die notwendige Betreuung und Unterstützung des Managements in der frühen Phase der Unternehmensentwicklung.

Die Zusagen verteilen sich über alle Bundesländer und breit über die Innovationsfelder, darunter High-tech *Start-ups* der Nanotechnologie in den Bereichen Medizintechnik, Chemie und Biotechnologie.

- **EXIST – Existenzgründungen aus der Wissenschaft**
  Mit dem bereits 1998 gestarteten Förderprogramm „EXIST – Existenzgründungen aus der Wissenschaft" unterstützt das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie Maßnahmen zur Verankerung einer Kultur der unternehmerischen Selbständigkeit und zur Stärkung des Gründungsgeschehens an Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen und fördert innovative Gründungsvorhaben aus der Wissenschaft:

- **EXIST-Gründerstipendium**
  Das EXIST-Gründerstipendium unterstützt Gründerinnen und Gründer aus Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen, die ihre Gründungsidee in einen Businessplan umsetzen möchten, bei der Ausarbeitung aussagefähiger Geschäftspläne und der Vorbereitung der Gründung ihres innovativen Unternehmens. Gründerinnen und Gründer, auch Teams mit zwei bis drei Personen, erhalten für ein Jahr ein Stipendium sowie Sach- und Coachingmittel. Etwa fünf Prozent davon haben einen Bezug zur Nanotechnologie.

- **EXIST-Forschungstransfer**
  EXIST-Forschungstransfer ergänzt seit November 2007 das eher breitenwirksame EXIST-Gründerstipendium. EXIST-Forschungstransfer erleichtert technisch besonders anspruchsvollen Gründungsvorhaben den oft nur schwer finanzierbaren Weg vom Labor zum Markt. Pro Jahr werden bundesweit rund 25 bis 30 technologisch besonders anspruchsvolle Ausgründungsvorhaben aus Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen unterstützt, die abgeschlossenen Forschungsprojekten entstammen und bis zur „Gründungsreife" noch erhebliche, risikobehaftete Entwicklungsarbeiten erfordern.

  Der Bereich der Nanotechnologie knüpft als Querschnittstechnologie an die Bereiche Biotech, Medizintechnik, Materialforschung- und Laser/Optik an. Etwa 10 Prozent der durch EXIST-Forschungstransfer geförderten Gründungsvorhaben greifen Nanotechnologie auf.

> Förderbeispiel: Particular GmbH, Hannover
> Das *Start-up*-Unternehmen Particular GmbH ist Ende 2009 als Ausgründung aus dem Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH) entstanden, das seit 1986 Forschungs- und Entwicklungsprojekte in der Laserentwicklung und Laseranwendung betreibt. Am LZH werden seit 2004 Verfahren zur Nanopartikelerzeugung mittels Laserabtrag in Flüssigkeiten entwickelt. Particular ist das weltweit erste Unternehmen, das den Laserabtrag in Flüssigkeiten zur Produktion von Nanopartikeln kommerziell nutzbar gemacht hat (particular.eu). Die Gründung der Particular GmbH wurde ab September 2008 durch EXIST-Forschungstransfer unterstützt.

- **SIGNO – Schutz von Ideen für die gewerbliche Nutzung**
  Das Förderprogramm **SIGNO** unterstützt Hochschulen, Unternehmen und Erfinder bei der rechtlichen Sicherung und der wirtschaftlichen Verwertung ihrer innovativen Ideen. Es fördert den Technologietransfer durch die effiziente Nutzung von geistigem Eigentum.

- **Power für Gründerinnen**
  Speziell an hochqualifizierte Frauen richtet sich die Initiative **„Power für Gründerinnen"**, die Frauen den Schritt in die Selbstständigkeit und die Gründung innovativer Unternehmen erleichtern soll. Im Bereich der Nanotechnologie werden beispielsweise Nano-Entrepreneurship-Academies (NEnA) unterstützt, die als Initiative des Netzwerkes nano4women die Brücke zwischen Wissenschaft und Wirtschaft schlagen und innovative Geschäftsideen und -modelle entwickeln und prämieren.

- **Unternehmen Region**
  In der Innovationsinitiative für die Neuen Länder spielt die potenzielle Verwertung der Forschungsergebnisse eine wichtige Rolle. Im Rahmen des Programms „Forschung für den Markt im Team [ForMaT]“ werden Forscherinnen und Forscher dabei unterstützt, Verwertungsansätze systematisch zu einem Businessplan auszubauen.

- **Pakt für Forschung und Innovation**
  Im Rahmen des Paktes für Forschung und Innovation haben sich die Forschungseinrichtungen verpflichtet, verstärkt auf die Wirtschaft zuzugehen, um durch gemeinsame Planungsprozesse und Forschungsanstrengungen sowie Innovationspartnerschaften und Technologietransfer die Innovationsbilanz zu verbessern. Hierfür sollen sie auch die Instrumente zur Förderung von Ausgründungen aus Forschungseinrichtungen und zur Nutzung von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen in Netzwerken weiter ausbauen.

- **Gründungskultur und Rahmenbedingungen**
  Die Initiative „Gründerland Deutschland“ soll einen Mentalitätswandel und ein gesellschaftliches Klima für Unternehmergeist und positive Bewertung der Selbständigkeit fördern. Gerade junge Menschen an Schulen und Hochschulen sollen stärker für die Chancen des Schritts in die Selbständigkeit sensibilisiert werden.
  Auch soll Gründerinnen und Gründern nach einem Fehlstart eine zweite Chance eröffnet werden. Geplant ist zudem eine Verbesserung der Rahmenbedingungen für Wagnis- und Beteiligungskapital sowie für Tätigkeiten der so genannten „Business Angels“, also erfahrenen Unternehmern, die bei Gründungen mit Kapital und Rat zur Seite stehen. Die Bundesregierung unterstützt dies mit gemeinsamen Initiativen wie dem „Business Angel Jahr 2010“, die offensiv für ein Engagement in diesem Bereich werben sollen.

6 Risiken der Nanotechnologie erkennen – für einen sicheren und verantwortlichen Umgang

Wie jede Technologie ist auch die Nanotechnologie mit möglichen Auswirkungen und Risiken für Mensch und Umwelt verbunden. Die Bundesregierung ist sich der Verantwortung zum Schutz von Arbeitnehmern, Verbrauchern und Umwelt bewusst und verfolgt konsequent die Strategie, einerseits die Chancen der Nanotechnologie für die Gesellschaft und den Standort Deutschland zu nutzen und andererseits gleichzeitig eine umwelt- und gesundheitsverträgliche sowie nachhaltige Entwicklung der Nanotechnologie zu fördern.

Ergebnisse aus den Projekten NanoCare, INOS und TRACER [13] weisen darauf hin, dass Nanoskaligkeit bei Materialien allein keine Grundlage für eine Risikobewertung ist. Vielmehr können Nanomaterialien in Abhängigkeit von Parametern wie Struktur, Morphologie, chemische Zusammensetzung und Konzentration unterschiedliches toxikologisches Potenzial aufweisen. Ein potenzielles Risiko muss also von Fall zu Fall betrachtet und im Ergebnis durch Langzeituntersuchungen abgesichert werden.

Die Wirksamkeit von Risikovorsorge und -managementmaßnahmen wird von der Bundesregierung in einem kontinuierlichen technologiebegleitenden Prozess überprüft und angepasst werden. Ein sicherer Umgang mit der Nanotechnologie wird sich weltweit allerdings nur durch international harmonisierte Produkt- und Sicherheitsstandards auf Basis anerkannter Mess- und Auswerteverfahren erreichen lassen. Die Bundesregierung unterstützt dazu zahlreiche Initiativen zur internationalen Koordination.

Nanomaterialien werden zunehmend auch in verbrauchernahen Produkten eingesetzt. Damit wird eine Exposition von Beschäftigten, Verbrauchern und der Umwelt möglich. Gleichzeitig fehlen vielfach grundlegende Kenntnisse über Risiken, die mit dieser Exposition verknüpft sein können. Vor diesem Hintergrund haben die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), das Umweltbundesamt (UBA) und das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) im Jahr 2007 eine gemeinsame Forschungsstrategie zur Nanotechnologie veröffentlicht, in die auch die Bundesanstalt für Materialforschung (BAM) und die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) eingebunden sind. Mit dem Ziel der Prioritätensetzung und Koordinierung wurden Themen identifiziert, die für Arbeits-, Verbraucher- und Umweltschutz gleichermaßen wichtig sind, aber auch solche, die nur für einzelne Bereiche eine hohe Bedeutung haben. Eine erste Bilanz wird 2011 gezogen, darauf aufbauend werden die Strategie fortgeschrieben und Schwerpunkte für Forschungsthemen in den Folgejahren gesetzt.

6.1 Gesundheitsschutz/Verbraucherschutz/ Lebensmittelsicherheit

Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit gewinnen mit der Verbreitung Nanotechnologie-basierter Alltagsprodukte wie Kosmetika, Reinigungsmittel und Haushaltsgegenstände stetig an Bedeutung. Die Information über die Verwendung von Nanomaterialien in Produkten ist bislang gesetzlich nicht geregelt und obliegt grundsätzlich der Entscheidung des Produktherstellers. In Anwendungsbereichen, für die Zulassungsverfahren vorgesehen sind, werden die relevanten Informationen im Rahmen der entsprechenden Zulassungsanträge verfügbar. Auch wird ab dem Jahr 2013 die Kennzeichnung von nanoskaligen Bestandteilen in Kosmetika auf Basis der im Jahr 2009 erlassenen Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 in Europa verpflichtend.

Lebensmittel

Der Einsatz gezielt hergestellter Stoffe in nanopartikulärer Abmessung ist in Deutschland bei Lebensmitteln nach verfügbaren Informationen derzeit noch nicht von Relevanz. Dennoch könnten sich zukünftig Möglichkeiten bieten, Lebensmitteln durch die Verwendung von Zutaten in Nanogröße besondere Eigenschaften zu verleihen. Es steht außer Zweifel, dass solche Stoffe nur dann in Lebensmitteln eingesetzt werden dürfen, wenn dies keine Gefahr für Verbraucherinnen und Verbraucher mit sich bringt. Lebensmittel müssen generell sicher sein. Um dies ausreichend zu gewährleisten, wurden durch Anpassung der einschlägigen rechtlichen Regelungen die notwendigen Grundlagen geschaffen bzw. sind vorgesehen.

Für die Bewertung von Nanomaterialien in Lebensmitteln hat die European Food Safety Authority (EFSA) 2009 eine Stellungnahme veröffentlicht. Der Wissenschaftliche Ausschuss der EFSA kam zu dem Schluss, dass sich die bewährten internationalen Ansätze zur Risikobewertung auch auf technisch hergestellte Nanomaterialien (ENM) anwenden lassen [14]. Es wurde der Schluss gezogen, dass ein einzelfallbezogener Ansatz nötig sei.

Lebensmittelkontaktmaterialien

Im Bereich der Lebensmittelkontaktmaterialien gibt es bereits verschiedene Produkte auf dem Markt, die unter Anwendung der Nanotechnologie hergestellt werden bzw. Nanomaterialien enthalten. Hierzu zählen Verpackungen mit Barrierewirkung bzw. mit Beschichtungen als Sperre für Feuchte, Sauerstoff oder UV-Licht, antibakteriell ausgerüstete Packstoffe oder Packstoffe mit Indikatorfunktion, die verdorbene Lebensmittel erkennen und anzeigen können. Darüber hinaus können Nanomaterialien zur Funktionalisierung von Oberflächen als Prozessmaterialien bei der Herstellung von Lebensmitteln (z. B. bei Förderbändern) eingesetzt werden und dort verschiedene Effekte erzielen, wie u. a. Reinigbarkeit („Lotus-Effekt"), Energieeffizienz, Hafteigenschaften. In Umsetzung des Gemeinschaftsrechts hat die Bundesregierung kürzlich die Zulassung eines Nanopartikels zur Verwendung in Lebensmittelkontaktmaterialien aus Kunststoff ausgesprochen. Dabei handelt es sich um nanopartikuläres Titannitrid zur Erhöhung der Produktionseffizienz bei der Ausformung von Kunststoffen. Die Zulassung beschränkt sich auf die Verwendung für PET-Flaschen in Konzentrationen bis zu 20 Milligramm pro Kilogramm. Bei diesen speziellen Verwendungsbedingungen besteht nach Auffassung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authority, EFSA) kein gesundheitliches Risiko, weil ein Übergang auf Lebensmittel und damit eine Verbraucherbelastung nicht zu erwarten ist.

Kosmetische Mittel

In kosmetischen Mitteln liegen Nanopartikel häufig in agglomerierter Form vor. Eine Penetration in bzw. eine Absorption durch die Haut ist daher unwahrscheinlich. Soweit gewährleistet ist, dass diese Produkte auf gesunder Haut verwendet werden, sowie unter Annahme einer ausschließlich dermalen Exposition gegenüber Nanopartikeln mit einer Größe über > 20 Nanometer, gibt es bislang keine Hinweise auf eine unmittelbare Gefährdung der Verbraucherinnen und Verbraucher.

Arzneimittel und Medizinprodukte

Arzneimittel dürfen nur eingesetzt werden, wenn sie u. a. hinsichtlich ihrer Unbedenklichkeit für Patientinnen und Patienten geprüft sind. Diese Bewertung erfolgt bei Arzneimitteln im Rahmen der behördlichen Zulassungsverfahren, bei Medizinprodukten durch das Konformitätsbewertungsverfahren. Das gilt auch bei Produkten, die unter den Begriff „Nanomedizin" fallen. Auf EU- und internationaler Ebene werden derzeit Strategien zur Weiterentwicklung der Risikobewertung von Nanomedizin-Produkten diskutiert.

Aktionen

- **Anpassung der einschlägigen Rechtsvorschriften** an die spezifischen Belange der Nanotechnologie, falls erforderlich (z. B. im Bereich der neuartigen Lebensmittel).

- **Wissenschaftlich fundierte Risikobewertung**
  Im Geschäftsbereich des BMELV beschäftigt sich das Bundesinstitut für Risikobewertung mit der wissenschaftlich fundierten Risikobewertung des Einsatzes der Nanotechnologie bei verbrauchernahen Produkten, Kosmetika, Lebensmitteln und Lebensmittelkontaktmaterialien (z. B. Verpackungen). Dazu werden zahlreiche Forschungsprojekte durchgeführt bzw. beauftragt, Expertenbefragungen veranstaltet und aktuelle Studien erstellt.

- **Begleit- und Sicherheitsforschung zur Nanotechnologie im Agrar- und Ernährungssektor**
  Das Bundesinstitut für Risikobewertung, das Max-Rubner-Institut, das Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, sowie weitere Forschungseinrichtungen des BMELV-Geschäftsbereichs leisten Begleit- und Sicherheitsforschung zur Nanotechnologie im Agrar- und Ernährungssektor. Zur Koordination ihrer Aktivitäten haben sie eine Senatsarbeitsgruppe „Synthetische Nanomaterialien“ gegründet.

- **Ausbau der Analytik von Nanopartikeln in komplexen Matrizes**
  Das Bundesinstitut für Risikobewertung und das Max-Rubner-Institut investieren erhebliche Sachmittel und Personalkapazitäten in den Ausbau der Nano-Analytik in den Matrizes Lebensmittel.

- **Sicherheitsforschung bei kosmetischen Mitteln**
  Aus den bisher vorliegenden Ergebnissen ist zu folgern, dass Nanopartikel, die in kosmetischen Mitteln verwendet werden, zumindest hinsichtlich der Größenverteilung auf der Haut und im Stratum corneum untersucht werden sollten. Messmethoden für den Nachweis der Partikel in den Formulierungen und auf der Haut sind zu entwickeln.

6.2 Auswirkungen auf den Menschen

Trotz umfangreicher Forschungsarbeiten zu Auswirkungen von Nanomaterialien auf Mensch und Umwelt auf nationaler und internationaler Ebene gibt es noch deutliche Wissenslücken, die geschlossen werden müssen. Hierzu wurde bereits ein umfassendes Maßnahmenbündel in die Wege geleitet; die Risikoforschung soll aber auch zukünftig weiter ausgebaut werden. Im Zentrum stehen dabei Arbeiten zu toxikologischen Effekten von Nanomaterialien sowie die Analyse möglicher Expositionsszenarien über den gesamten Lebenszyklus für relevante Anwendungsbereiche der Nanotechnologie. So können manche Nanomaterialien biologische Barrieren eher durchdringen als größere Partikel und an Orte im Organismus gelangen, die für gröbere Teilchen nicht zugänglich sind. Um Materialien entwickeln zu können, die nicht diese Eigenschaften aufweisen, ist eine umfassende Bewertung der Auswirkungen erforderlich.

Aktionen

- **Toxikologische Risikocharakterisierung von Nanomaterialien**
  Aufgrund der steigenden Zahl an verschiedenen synthetischen Nanomaterialien ist es ein wichtiges Ziel, nicht nur das einzelne Material, sondern Wirkprinzipien für die toxikologische Charakterisierung abzuleiten. Fragen der Gentoxizität, der Kanzerogenität, des Zerfalls von Agglomeraten und Aggregaten im Zielorgan und des Einflusses bewusst modifizierter Oberflächeneigenschaften stehen im Vordergrund.

- **NanoCare – Auswirkungen synthetischer Nanomaterialien auf den Menschen**
  Im Fokus der Förderaktivität NanoCare steht die systematische Erforschung von den humantoxikologischen Aus- und Wechselwirkungen von synthetischen Nanomaterialien mit dem Menschen, Fragen der Exposition, die Entwicklung von Messstrategien und Testsystemen, sowie der Nachweis und die Abschätzung möglicher toxischer Wirkungen auf den Menschen entlang des Lebenszyklus der Nanomaterialien.

- **Nanomaterialien anthropogenen Ursprungs in der Umwelt – Belastungen für den Menschen**
  Bisher ist noch nicht untersucht, ob und in welchem Ausmaß Nanomaterialien anthropogenen Ursprungs über die Verunreinigung von Boden, Wasser und Luft ungewollt in Lebensmittel gelangen können. Es soll daher eine Abschätzung möglicher ungewollter Eintragsquellen von Nanomaterialien in Lebensmittel erfolgen. Dazu müssen Analysetechniken und -methoden weiterentwickelt werden.

  Eine Belastung des Menschen mit Nanomaterialien aus der ihn umgebenden Umwelt ist auch in Innenräumen möglich, wenn Nanopartikel zunehmend in verbrauchernahen und in Innenräumen angewendeten Produkten eingesetzt werden. Mit der Weiterentwicklung von Analysemethoden, der Ermittlung von Wirkungen der im Körper abgelagerten Nanomaterialien sowie der Aufnahme und Verteilung verschiedener Arten von Nanomaterialien werden sich zukünftige Forschungsprojekte beschäftigen.

- **Durchführung von Langzeitstudien zu Auswirkungen auf die Gesundheit.**
Die meisten der bisher durchgeführten Untersuchungen stützen sich auf zelluläre Studien und Kurzeittests. Um die Möglichkeit der Anreicherung von Nanomaterialien in Zellen und Geweben längerfristig zu beobachten, sollen als Grundlage für eine Risikobewertung in Zukunft Langzeitstudien durchgeführt werden.

6.3 Arbeitsschutz

Der sichere Umgang mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz ist insbesondere für Hersteller und Anwender eine zentrale Forderung. Die BAuA hat im Bereich Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten für die Dauer des Aktionsplans die Schwerpunkte Arbeitsplatzbelastungen, toxikologische Risikocharakterisierung und Beiträge zur Vorsorgestrategie gesetzt.

Aktionen

- **Arbeitsplatzbelastungen bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien**
Die verlässliche Ermittlung der Exposition von Beschäftigten gegenüber Nanomaterialien setzt geeignete Messverfahren und -strategien voraus. Wichtige Themen in diesem Kontext sind die Gewinnung von Erfahrungswerten zur Exposition der Beschäftigten, die Validierung und Standardisierung, die stoffliche Differenzierung und Abgrenzung von der Hintergrundbelastung, eine ausreichende Filtertechnik, die personenbezogene Probenahme sowie die Charakterisierung des Verstaubungsverhaltens von Nanomaterialien.

- **Beiträge zur Vorsorgestrategie für Nanomaterialien am Arbeitsplatz**
Bis zur Behebung der Defizite bei der Bewertung von Gesundheitsrisiken durch Nanomaterialien am Arbeitsplatz werden im Sinne des Vorsorgeprinzips zunächst strenge Arbeitsschutzmaßnahmen ergriffen, die mit zunehmendem Erkenntnisgewinn schrittweise an die tatsächlichen Gesundheitsrisiken angepasst werden. In diesem Prozess unterstützt die BAuA mit Gutachten, Projekten und Handlungshilfen das regulatorische Handeln auf gesetzlicher und untergesetzlicher Ebene sowie die Selbstverantwortung von Unternehmen im Bereich der Nanotechnologie.

- **Beratung von Unternehmen zur Arbeitssicherheit im Umgang mit Nanomaterialien**
Die Begleitung von nanotechnologischen Werkstoffinnovationen durch Sicherheitsforschung und -beratung soll bereits an der Schwelle vom Laborstadium in die Pilotproduktion/Anwendungstechnik ansetzen. Aufgrund der hohen Tonnageschwellen und des eingeschränkten Prüfprogramms greifen die Anforderungen der REACH-Verordnung [15] insbesondere für KMU und Start-up-Unternehmen spät, um dem, auch aus haftungsrechtlicher Sicht, wichtigen Wunsch der Unternehmen nach anwendungssicheren Produkten frühzeitig Rechnung zu tragen. Die BAuA bietet hierzu Beratung und Unterstützung bei Messung der Belastung durch Nanopartikel an.

6.4 Auswirkungen auf die Umwelt

Die Forschungsinitiativen zu den möglichen Umweltrisiken von Nanomaterialien sind in den letzten Jahren rasant angestiegen. Dennoch bestehen besonders im Umweltbereich Wissenslücken. In deren Zentrum steht die gleichzeitige Betrachtung von Nutzen und Risiken für den Umweltbereich, sowie insbesondere die Frage der Nachhaltigkeit. Hier gilt es, den gesamten Produktlebenszyklus‘ und die Entsorgungswege wie z. B. Abwasser mit einzubeziehen sowie die existierenden Methoden (z. B. standardisierte Tests zur Erfassung der ökotoxischen Wirkung nach ISO oder OECD) an die Untersuchung von Nanomaterialien anzupassen. Eine besondere Schwierigkeit stellt dabei die Herstellung von Referenzmaterialien und stabilen Testsuspensionen dar.

Aktionen

- **NanoNature –** Nanotechnologien für den Umweltschutz – Nutzen und **Auswirkungen**
Zum Aufgabenspektrum gehört neben der Analyse von Struktur-Wirkungs-Beziehungen, Wirkmechanismen sowie relevanten Wirkschwellen auch die Entwicklung geeigneter Mess- und Testverfahren zur Risikoabschätzung. Weitere Schwerpunkte sind Fragen zur Mobilität von Nanopartikeln, die Wechselwirkung mit anderen Stoffen in Umweltmedien oder deren Bioakkumulation entlang der Nahrungskette.

- **Gruppierung von Nanomaterialien nach Umweltverhalten**
  Um Verhalten und Verbleib von Nanomaterialien in der Umwelt beschreiben zu können, müssen zunächst die dafür relevanten Faktoren identifiziert werden. Neben der Partikelgröße und -verteilung, Form und morphologischen Oberflächengestaltung kann dies auch Faktoren wie Agglomeration, Sorption, Wechselwirkungen mit anderen Chemikalien in der Umwelt, katalytische Aktivitäten oder Carrierfunktionen umfassen.

- **Methodenentwicklung zur Sicherheitsbewertung**
  Standardisierte Tests zur Erfassung der möglichen Sicherheitsrisiken von Substanzen wurden für die Untersuchung von „klassischen" Chemikalien, und damit für lösliche oder schwer lösliche Substanzen entwickelt. Diese Methoden müssen auf ihre Eignung für die Untersuchung von Nanomaterialien untersucht und ggf. angepasst werden. Die Ergebnisse sollen u. a. auch in den Lenkungsausschuss 4 „Manufactured Nanomaterials and Testguidelines" der OECD „Working Party on Manufactured Nanomaterials (WPMN)" einfließen.

- **Forschung zu Exposition der Umwelt mit Nanomaterialien**
  Eine umfassende Beurteilung von Emissionen und der Exposition von Umweltmedien mit Nanomaterialien ist derzeit nur eingeschränkt möglich. Messmethoden und quantitative Angaben zu Freisetzungen von Nanomaterialien aus Produkten bei der Anwendung und bei der Entsorgung sind bisher nur sehr vereinzelt verfügbar. Weiterhin müssen mögliche Mechanismen und Wahrscheinlichkeiten einer Freisetzung von Nanopartikeln aus Kompositmaterialien erforscht bzw. abgeschätzt werden. Die Beurteilung von Emission und Exposition muss für den gesamten Lebensweg erfolgen. Hoher Forschungsbedarf besteht im Bereich des Expositionsschutzes, z. B. zu Filtern, und zur Entsorgung nanomaterialhaltiger Produkte nach der Gebrauchsphase. Hier müssen ggf. Konzepte zur sachgerechten Entsorgung entwickelt werden.

- **Langzeitstudien zu Auswirkungen in der Umwelt**
  Erforderlich sind Untersuchungen zu Effekten nach Langzeitexposition. Dazu müssen Protokolle entwickelt und technische Standards zur Materialbeschreibung während des ökotoxikologischen Tests festgelegt werden. Einige der im Rahmen des Umweltforschungsplanes finanzierten Vorhaben befassen sich bereits heute mit den möglichen notwendigen Anpassungen von OECD-Richtlinien zur ökotoxikologischen Untersuchung von synthetischen Nanomaterialien.

- **Entwicklung der Messtechnik zur Bestimmung von Nanomaterialien in den Umweltkompartimenten**
  Zur Bestimmung von Nanomaterialien in den Umweltkompartimenten Wasser, Boden und Sediment sowie in den darin lebenden Organismen müssen geeignete Messverfahren entwickelt werden. Bei der Messung von Eintrag, Verbleib und Verhalten von Nanomaterialien in der Umwelt kann es durch die spezifischen Eigenschaften der Nanomaterialien, der Wechselwirkung mit Umweltmedien und Chemikalien sowie einer natürlich vorkommenden Hintergrundkonzentration zur Erschwernis der Bestimmung der Nanomaterialien kommen. Hier müssen bestehende Testverfahren angepasst und ggf. neue Methoden entwickelt werden.

- **Green Nanotechnology**
  Forschungsschwerpunkte für eine nachhaltige Sicherung der globalen Lebensgrundlagen in den Bereichen Klimaschutz, Ernährung und Wasserversorgung sowie den Ersatz knapper Rohstoffe im Sinne einer „grünen Nanotechnologie" werden in den nächsten fünf Jahren weiter ausgebaut. Auf Basis von Lebenszyklusanalysen, von Stoff- und Energieströmen sowie Sicherheitsaspekten über den gesamten Produktkreislauf werden die Auswirkungen nanotechnologischer Technologieentwicklungen bewertet und gegen alternative Optionen abgewogen. Zudem steht die nachhaltige und risikoärmere Gestaltung der Nanomaterialien und -produkte selbst im Fokus, so dass die technologische Nanofunktionalität erfüllt wird, ohne zugleich advers auf Nachhaltigkeitsziele zu wirken.

6.5 Ethische und gesellschaftliche Fragestellungen der Nanotechnologie

Im Bereich der Nanotechnologie gibt es seit einigen Jahren eine Debatte über mögliche Auswirkungen, Risiken und Vorsorgemaßnahmen sowie zur Regulierung. Im Umgang mit dieser Problematik sind ein sachlicher Diskurs und eine verantwortliche Abschätzung der Chancen und Risiken für den Einzelnen und die Gesellschaft notwendig. Darüber hinaus werden in der Nanotechnologie allgemeine ethische und gesellschaftliche Fragestellungen diskutiert. Hierzu gehören z. B. Fragen des Datenschutzes und der Privatsphäre angesichts der immer leistungsfähigeren Methoden der sensorischen Überwachung sowie der Ermittlung und Speicherung medizinischer Daten. Bioethische Aspekte kommen im Bereich der Nanotechnologie ebenfalls zum Tragen, so im Zusammenhang mit Eingriffen in den menschlichen Organismus zur Leistungssteigerung, mit individualisierter Medizin sowie mit Fragen zum Mensch-Maschine-Verhältnis und zum Menschenbild. Es ist von entscheidender Bedeutung, diese Fragen auf kritische Weise wissenschaftlich zu reflektieren und mit der Öffentlichkeit zu diskutieren, um Lösungen entwickeln zu können. Dabei ist zu vergegenwärtigen, dass sowohl die Risikofragen als auch die ethischen Aspekte im Kontext der jeweiligen Anwendungsfelder betrachtet bzw. bewertet werden müssen. Weder die für eine bestimmte Anwendung verwendete Technologie noch der Größenmaßstab dieser Technologie können aus sich heraus und pauschal ein sinnvolles Kriterium zur Abgrenzung des Technologiefeldes darstellen.

Im Fokus der Sozial- und Geisteswissenschaften steht zudem die Erforschung der Wechselbeziehung von gesellschaftlichen Bedingungen für Innovationen und die Auswirkungen von Innovationen auf die Gesellschaft. Dies gilt auch für die Nanotechnologie. Eine Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Natur, Technik, Gesellschaft und Kultur mithilfe der sozial-, wirtschafts- und geisteswissenschaftlichen Forschung ist somit notwendig, um die sozio-kulturellen Voraussetzungen für technische und soziale Innovationen zu bestimmen. Auf diesem Weg können die Realisierungschancen für eine breite Umsetzung erhöht und die Folgen technischer Neuerungen für Kultur und Gesellschaft frühzeitig abgeschätzt werden.

Aktionen

Das BMBF fördert seit 1997 systematisch die Erforschung ethischer, rechtlicher und sozialer Aspekte (ELSA, Ethical Legal and Social Aspects) in den Lebenswissenschaften als integralen Bestandteil der Forschung. Innerhalb dieses Förderschwerpunktes werden wesentliche lebenswissenschaftliche Entwicklungen und ihre Implikationen in interdisziplinärer Zusammenarbeit kritisch und frühzeitig reflektiert.

Zudem fördert das BMBF derzeit in der sozial-ökologischen Forschung, den Wirtschaftswissenschaften für Nachhaltigkeit und der Wissenschaftsforschung, Projekte, die sich mit diesen Zusammenhängen beschäftigen.

7 Rahmenbedingungen verbessern

7.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die Bundesregierung wird die Nanotechnologie verantwortungsvoll weiterentwickeln. Aus regulatorischer Sicht wird es darauf ankommen, die möglicherweise von der Nanotechnologie ausgehenden Risiken adäquat zu kontrollieren und zugleich gesellschaftliche und wirtschaftliche Potenziale zu nutzen.

Chemikalienrecht

Das europäische Chemikalienrecht, besonders die Europäischen Verordnungen REACH (Registrierung von Chemikalien) [15] und CLP (Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien), [16] bilden neben den sektoralen Bestimmungen für Kosmetika und Lebensmittel derzeit den wichtigsten Rahmen für die gesetzgeberische Handhabung von Nanomaterialien. Die Bundesregierung geht davon aus, dass die Bestimmungen von REACH im Grundsatz gut geeignet sind, nanospezifische Eigenschaften von Chemikalien zu erfassen. Sie diskutiert mit den europäischen Partnern ein umfassendes Konzept, mit dem unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips Nanomaterialien unter REACH geregelt werden können. Dazu werden in einer Unterarbeitsgruppe von CARACAL (Competent Authorities for REACH and CLP), der CASG Nano (Competent Authorities Subgroup Nano), Empfehlungen zur Behandlung von Nanomaterialien in REACH erarbeitet. Diese betreffen Ergänzungen in den Bestimmungen, insbesondere die Definition von Nanomaterialien und die Hinzunahme von spezifischen Standard-Prüfprogrammen. Mit diesen Anpassungen und den bereits in REACH vorhandenen Instrumentarien zur Risikobewertung und zum Risikomanagement kann die Nanotechnologie den Anforderungen des Arbeits-, Umwelt- und Verbraucherschutzes gerecht werden.

Lebensmittel

Für Lebensmittel, die nanopartikuläre Zutaten enthalten, sind ebenso wie für andere Lebensmittel die allgemeinen lebensmittelrechtlichen Vorschriften, insbesondere der Verordnung (EG) Nr. 178/2002 sowie des Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuchs (LFGB), maßgeblich. Demnach dürfen nur sichere Lebensmittel in den Verkehr gebracht werden.

Weiterhin sind je nach Art des Lebensmittels/der Lebensmittelzutat ggf. spezifische Regelungen relevant:

a) Lebensmittelzusatzstoffe
Mit Blick auf einen potenziellen Einsatz von Nanopartikeln im Lebensmittelbereich, wurde bei der Überarbeitung der EU-Vorschriften für Lebensmittelzusatzstoffe auch dem Thema Nanotechnologie besondere Bedeutung beigemessen. Die Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 sieht eine Neubewertung der Sicherheit und ggf. Neuzulassung von Lebensmittelzusatzstoffen vor, die nicht in herkömmlicher, bereits geprüfter Form, sondern z. B. in nanoskaliger Abmessung, verwendet werden sollen.

b) Neuartige Lebensmittel
Sollen nanopartikuläre Zutaten zu anderen als technologischen Zwecken z. B. aus ernährungsphysiologischen Gründen in Lebensmitteln eingesetzt werden, findet unter bestimmten Voraussetzungen die Verordnung (EG) Nr. 258/97 über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten Anwendung. Damit unterliegen sie dem in der Verordnung (EG) Nr. 258/97 festgelegten Zulassungsverfahren, das eine umfassende Sicherheitsbewertung einschließt.

Die Vorschriften über neuartige Lebensmittel werden derzeit auf EU-Ebene überarbeitet. Nach gegenwärtigem Beratungsstand sind gegenüber dem bestehenden Recht weitergehende Regelungen zur Nanotechnologie vorgesehen. So sollen Lebensmittel, die technisch hergestellte Nanomaterialien enthalten oder aus solchen bestehen, künftig generell unter den Anwendungsbereich der Verordnung über neuartige Lebensmittel und damit unter das darin festgelegte Zulassungs- und Bewertungsverfahren fallen, unabhängig davon, ob eine bedeutende Veränderung im Lebensmittel bewirkt wurde oder nicht. Wie bisher können im Rahmen der Zulassung spezifische Kennzeichnungsanforderungen festgelegt werden. Die Beratungen über die neue Verordnung sind noch nicht abgeschlossen. Mit einer Veröffentlichung ist 2011 zu rechnen.

Lebensmittelkontaktmaterialien

Lebensmittelkontaktmaterialien müssen den allgemeinen Schutzbestimmungen der Verordnung (EG) Nr. 1935/2004 (Rahmenverordnung für Lebensmittelkontaktmaterialien) genügen, wonach keine Gesundheitsgefahr für den Menschen ausgehen darf. Dies ist unabhängig von der Partikelgröße der eingesetzten Stoffe und der Materialart durch die Unternehmen zu gewährleisten. Stoffspezifische Zulassungsverfahren (Verbotsprinzip mit Erlaubnisvorbehalt), die auch das Kriterium Partikelgröße umfassen, bestehen im EU-Recht derzeit für bestimmte Komponenten in Lebensmittelkontaktmaterialien aus Kunststoff (Richtlinie 2002/72/EG) und solchen aus Zellglasfolie (Richtlinie 2007/42/EG). Auch für Stoffe in so genannten aktiven und intelligenten Materialien oder Gegenständen wird künftig eine Zulassung erforderlich sein (Verordnung (EG) Nr. 450/2009). Ob zusätzliche nanotechnologische Sonderregelungen für Lebensmittelkontaktmaterialien erforderlich sind, ist vom weiteren Erkenntnisgewinn abhängig zu machen.

Futtermittel

Für Futtermittel, die künstliche Nanopartikel enthalten, gelten die Sicherheitsanforderungen der Verordnung (EG) Nr. 178/2002 und des LFGB. Darüber hinaus werden Futtermittelzusatzstoffe nach der Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 europaweit einheitlich zugelassen. In den Anträgen auf Zulassung von Futtermittelzusatzstoffen müssen sowohl das Herstellungsverfahren als auch das Produkt selbst exakt beschrieben sein. Wenn diese Angaben Hinweise darauf ergeben, dass Partikel in Nano-Größe enthalten sind, so wird dieser Aspekt bei der Beurteilung der Sicherheit dieses Zusatzstoffes für Mensch, Tier und Umwelt berücksichtigt. Ergeben sich dabei Zweifel an der Sicherheit des Futtermittelzusatzstoffes, so wird eine Zulassung nicht erteilt. Mit der Zulassung von Zusatzstoffen können auch Vorschriften zur Kennzeichnung festgelegt werden.

Pflanzenschutz, Pflanzenschutzmittel und Biozide

Für den Bereich „Pflanzenschutz/Pflanzenschutzmittel“ sind die Rahmenbedingungen grundsätzlich durch geltendes EU-Recht und nationales Pflanzenschutzrecht abgedeckt. Für spezielle Fragestellungen sind geeignete Prüfmethoden noch zu erarbeiten (OECD-Testmethoden). Entsprechendes gilt für Biozide gemäß EU-Richtlinie 98/8/EG.

Kosmetika

Die Verordnung (EG) Nr. 1223/2009, deren nanorelevante Vorschriften ab 2013 anzuwenden sind, enthält erstmals Regelungen zu Nanomaterialien bei kosmetischen Mitteln. Darin enthalten ist eine Definition für Nanomaterialien, die sich an die Definition des Wissenschaftlichen Ausschusses für Verbraucherprodukte (SCCP) anlehnt, eine Kennzeichnungspflicht, sowie ein Notifizierungsverfahren, welches vor dem Inverkehrbringen durch die Kommission der EU zu erfolgen hat und verbunden sein soll mit einer Reihe von zusätzlichen Informationen. Diese Informationen beziehen sich auf die Partikelgröße, auf toxikologische Aspekte und auf die Menge des Stoffes, die auf den Markt gebracht werden soll. Die Kommission hat sich verpflichtet, eine Liste aller Nanomaterialien, die in kosmetischen Mitteln verwendet werden, zu erstellen.

Arzneimittel und Medizinprodukte

Für den Bereich der Arzneimittel und Medizinprodukte sind die Rahmenbedingungen bereits durch geltendes EU-Recht und nationales Recht abgedeckt. Neue Regelungen sind nicht erforderlich, die Ergänzung um einzelne nanospezifische Aspekte, z. B. in Bewertungsverfahren, ist vom weiteren Erkenntnisgewinn abhängig.

Markttransparenz für Nanoprodukte

In der Frage der obligatorischen Kennzeichnung von Nanoprodukten erscheint eine generelle und übergreifende Regelung als nicht zielführend. Es empfiehlt sich vielmehr, im Einzelfall und bezogen auf Produktklassen zu prüfen, ob eine Kennzeichnung aus Verbraucherschutzgründen sachgerecht und erforderlich ist. Eine Kennzeichnung kann zwar zu einer informierten Konsumentenentscheidung beitragen, allerdings auch als Warnhinweis missverstanden werden. Eine bloße Kennzeichnung als „Nanoprodukt" ist zudem ohne Aussagewert, weil der Maßstab weder eine Risikoaussage noch eine Aussage über die Qualität des Produktes erlaubt. Um solche Missverständnisse zu vermeiden, sollte vorrangiges Ziel die umfassende Information der Verbraucherinnen und Verbraucher über das Für und Wider nanotechnologischer Anwendungen sein.

Neben der Kennzeichnung von Nanoprodukten ist zudem die Einführung eines Produktregisters im Gespräch. Im Hinblick auf den europäischen Binnenmarkt wird dies auch auf europäischer Ebene diskutiert. Ein solches Register könnte ggf. für die Auskunftsfähigkeit der Behörden gegenüber Bürgerinnen und Bürgern genutzt werden. Bei der Abwägung der Vor- und Nachteile eines Registers müssen aber bereits bestehende rechtliche Vorgaben in einzelnen Sektoren wie z. B. Zulassungspflichten berücksichtigt werden. Die Bundesregierung wird den Diskussionsprozess auf europäischer Ebene aktiv begleiten.

7.2 Standardisierung und Normung

Durch Normen und Standards können Märkte für innovative Technologien geöffnet und Markttransparenz geschaffen werden. Sie tragen dadurch unmittelbar zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskraft der beteiligten Unternehmen bei. In der Nanotechnologie erfordern die zunehmenden Aktivitäten Definitionen und eine einheitliche Terminologie. Bisher werden von den verschiedenen Organisationen unterschiedliche Definitionen verwendet (siehe Kap. 1).

Auf internationaler Ebene befassen sich die ISO (International Standardization Organization) und die IEC (International Electrotechnical Commission) mit der Normung und Standardisierung der Nanotechnologie. Auf europäischer Ebene (CEN bzw. CENELEC) und nationaler Ebene (DIN bzw. DKE) existieren entsprechende Spiegelgremien, die in enger Kooperation mit den ISO/IEC-Ausschüssen stehen und die entsprechenden europäischen bzw. nationalen Interessen in die internationalen Gremien einbringen. ISO hat bislang vier offizielle Standards publiziert:

- **ISO/TR 12885:2008: Nanotechnologies – Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies**
- **ISO/TS 27687:2008: Nanotechnologies – Terminology and definitions for nano-objects – Nanoparticle, nanofibre and nanoplate (Definitionen zum Größenbereich des Begriffes nanoskalig sowie der so genannten Nanoobjekte, zu denen Nanopartikel, Nanofasern und Nanoplättchen zählen.)**
- **ISO/TR 11360:2010 Nanotechnologies – Methodology for the classification and categorization of nanomaterials**
- **ISO/TS 80004-3:2010 Nanotechnologies – Vocabulary – Part 3: Carbon nanoobjects**

Die ISO/TS 27687 und CEN ISO/TS 27687 liegen seit Januar in deutscher Sprache als nationale Norm DIN SPEC 1121 öffentlich vor.

Zur Verbesserung des Technologietransfers durch Normen und Standards hat die Bundesregierung verschiedene Fördermaßnahmen ergriffen. Zusätzlich zu dem bereits erfolgreich etablierten Fördervorhaben „*Innovation mit Normen und Standards*" hat sie mit dem Programm „*Transfer von FuE-Ergebnissen durch Normung und Standardisierung*" einen weiteren Förderschwerpunkt gesetzt. Ziel des 2009 eingerichteten Programms ist es, Normung und Standardisierung verstärkt als Transmissionsriemen für innovative Ideen und Forschungsergebnisse auf dem Weg zu marktfähigen und erfolgreichen Produkten und Dienstleistungen zu nutzen.

Aktionen

- **Deutsche Beteiligung an internationalen Normungsaktivitäten**
  Die internationalen Normungsaktivitäten in den Nanotechnologien erfolgen vor allem in zwei ISO- bzw. IEC-Gremien (ISO/TC 229 „Nanotechnologies“ und IEC/TC 113 „Nanotechnology Standardisation for Electrical und Electronic Products and Systems“) und einem Europäischen Gremium (CEN/TC 352 „Nanotechnologies“). Neben den oben zitierten publizierten Standards werden im ISO/TC 229 zur Zeit mehr als 30 Normungsprojekte parallel bearbeitet. Das europäische CEN/TC 352 bearbeitet drei eigene Normungsprojekte und übernimmt viele der ISO/TC 229 Projekte in sein Arbeitsprogramm, so dass diese nach Fertigstellung auch europäische Normen werden können.
  Für das IEC/TC 113, in dem zur Zeit vier Normungsprojekte bearbeitet werden, hat Deutschland die Leitung des Sekretariats übernommen. Diese Position gilt es künftig zu nutzen und durch aktives Engagement deutscher Experten in den jeweiligen Normungsausschüssen auszubauen, um so die Normung nanotechnologischer Lösungen mitzugestalten.

- **Normung in der Forschungsförderung**
  Um die Rahmenbedingungen für den erfolgreichen Transfer von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen in innovative Produkte und Dienstleistungen weiter zu verbessern, sollen Normungsaspekte stärker in Forschungsprogrammen zur Nanotechnologie berücksichtigt werden. Durch Aufnahme der Standardisierungsrelevanz in die Ausschreibung und Evaluierung von Fördermaßnahmen kann das Bewusstsein für Normung und Standardisierung als Transferinstrument für Innovationen geschärft und die Wirkung staatlicher und privater FuE-Mittel erhöht werden. Die Bundesregierung plant die besonderen Interessen von kleinen und mittelständischen Unternehmen in Normungsgremien stärker zu berücksichtigen und den Anwendungsbereich von Normen auf europäischer und nationaler Ebene auszubauen.

7.3 Qualifizierte Nachwuchs- und Arbeitskräfte

7.3.1 Schule, Ausbildung und Wissenschaft

Für die Umsetzung von Innovationen der Nanotechnologie in marktfähige Produkte von morgen werden kluge Köpfe und innovative Ideen gebraucht. Nachwuchsförderung für zukünftige nanotechnologisch ausgerichtete Arbeitsplätze und gut ausgebildete Fachkräfte sind wesentliche Voraussetzungen für die Sicherung der Beschäftigung in Deutschland.

Junge Menschen sollen daher für die Nanotechnologie und den damit verbundenen berufliche Perspektiven begeistert werden. Durch Wahl einer geeigneten Berufsausbildung oder Aufnahme eines einschlägigen Studiums können junge Menschen den Grundstein für eine Karriere in der Nanotechnologie legen.

Nach Prognosen des Instituts der Deutschen Wirtschaft werden bis 2020 jährlich mehr als 100.000 so genannte MINT-Akademiker gebraucht, was durch die jährlich etwa 85.000 bis 90.000 zu erwartenden Absolventenzahlen der Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik (MINT) bei weitem nicht gedeckt werden kann. Die Nachfrage übersteigt das Angebot an Absolventen deutlich, eine Trendwende ist nicht in Sicht. Dem stehen gute Aussichten auf zukunftssichere Arbeitsplätze mit attraktiven Karrierechancen gegenüber. Um dem wachsenden Personalbedarf Rechnung zu tragen, werden bedarfsgerecht Bildungsangebote entwickelt, die auf berufliche Tätigkeiten im Bereich Nanotechnologie gezielt vorbereiten. Gefragt sind junge Menschen, die sich für Forschung, innovative Tätigkeitsfelder und Unternehmen interessieren. Die Maßnahmen der Bundesregierung richten sich u. a. darauf,

- **Talente zu fördern und junge Menschen für Nanotechnologie zu begeistern,**
- **nanospezifische Bildungsangebote zu initiieren und transparent zu machen,**
- **aussichtsreiche Chancen für den potenziellen Nachwuchs zu kommunizieren und**
- **gute Rahmenbedingungen für die Vermittlung nanospezifischer Kompetenzen zu schaffen.**

Aktionen

- **Informationsangebote zur Studien- und Berufswahl**
  Nano-Lehrangebote liegen im Trend und werden zunehmend in den Fachbereichen Physik, Chemie, Materialwissenschaften/Werkstoffe, Elektrotechnik/Informatik und Ingenieurwissenschaften vermittelt. Entsprechende vertiefende Informationsangebote zur Berufswahl bieten die Agenturen für Arbeit in ihren Berufsinformationszentren beispielsweise über Informationsangebote wie die Mappen „Durchstarten“. Einen Überblick zu Nano-Bildungsangeboten ermöglicht das BMBF über das Internetportal www.nano-bildungslandschaften.de. Das Auffinden des geeigneten Angebotes wird interaktiv unterstützt und kartografisch visualisiert. Portraits zu den Nano-Studiengängen erleichtern die Studienwahl und verdeutlichen unterschiedliche Ausrichtungen. Jugend- und Hochschulmagazine ebenso wie jugendnahe Internetportale wie beispielsweise das Angebot www.abi.de der Bundesagentur für Arbeit erreichen zielgruppenspezifisch den potenziellen Nachwuchs mit redaktionellen Nano-Berichten, Reportagen und Nachrichten. Das Magazin „Nanotechnologie Aktuell“ vermittelt facettenreich Einblicke in Forschung, Karrierewege und Kompetenzen der Nanotechnologie. Studien-, Berufs-, Arbeits- und Anwendungsperspektiven werden adressatengerecht vermittelt.

- **Girls´ Day**
  Der vom Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte „Girls‘ Day“ liefert einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung des weiblichen Beschäftigungsanteils in den MINT-Berufen, die auch Grundlage für die berufliche Tätigkeit im Bereich der Nanotechnologie sind. Jährlich im April laden Unternehmen, Betriebe, Hochschulen und Forschungszentren Schülerinnen ab der fünften Klasse ein, um ihr Interesse für Berufsbereiche zu wecken, die sie sonst eher selten in Betracht ziehen. Insbesondere für den MINT-Bereich eröffnet der Aktionstag damit eine geeignete und nachweisbar erfolgreiche Möglichkeit sich qualifizierten weiblichen Fachkräftenachwuchs zu erschließen: 10 % der teilnehmenden Unternehmen und Institutionen konnten aufgrund ihrer Girls‘ Day-Aktivitäten bereits eine oder mehrere junge Frauen für diese Berufe einstellen (www.girls-day.de)

- **Nachwuchswissenschaftlerförderung „NanoMatFutur“**
  Angehende Nachwuchswissenschaftler, die sich in den Nano- und Werkstofftechnologien qualifiziert haben, fördert das BMBF bereits seit 2002 über den Wettbewerb „NanoFutur“, der nun als NanoMatFutur weitergeführt werden soll. Ausgewählte Preisträger erhalten die Möglichkeit, über einen Zeitraum von sechs Jahren eigene Nachwuchsgruppen aufzubauen und Forschungsarbeiten voranzutreiben. Damit qualifizieren sie sich für eine wissenschaftliche Laufbahn; in ihren Arbeitsgruppen bilden sie Ingenieure und Naturwissenschaftler sowohl für industrielle als auch akademische Karrieren aus.

- **Fachkräfte für KMU**
  Die Innovationskraft von Nano-Unternehmen – insbesondere der KMU – ist nicht nur auf eine ausreichende Verfügbarkeit von Fachkräften sondern in hohem Maße auch auf deren zielgerechte Aus- und Weiterbildung angewiesen. Gefragt sind Bildungsangebote, die auf künftige Qualifikationserfordernisse und den Bedarf innovativer Unternehmen ausgerichtet sind. Bestandsaufnahmen zum Nano-Bildungsangebot und dessen Wahrnehmung, Karrierenetzwerke sowie Analysen zu Nano-Kompetenzanforderungen bieten eine solide Basis, um Bildungsangebot und Nachfrage besser miteinander zu verzahnen.

- **Gewerbliche Ausbildung**
  Auf mittlerem Qualifikationsniveau bilden Nano-Unternehmen in einem breiten Spektrum nach jeweiliger Branchenzugehörigkeit aus. An erster Stelle steht derzeit das Vermitteln nanotechnologischen Wissens an Mechatroniker und Chemielaboranten, gefolgt von Elektronikern und Chemiekanten. Aus Sicht der Wirtschaft sind mittelfristig nanospezifische Ausbildungsinhalte innerhalb bereits etablierter Ausbildungsberufe gefragt.

- **Qualifizierungsinitiative**
  Mit Bildung, Qualifizierung und Nachwuchsarbeit zielt die Bundesregierung auf gute Rahmenbedingungen für eine solide Fachkräftebasis. Zur Mobilisierung von Fachkräften setzt die Bundesregierung auf die Qualifizierungsinitiative „Aufstieg durch Bildung“ sowie auf Aktionsprogramme zur Sicherung der Arbeitsplätze, Stärkung der Wachstumskräfte und Verbreiterung der Fachkräftebasis. Für die Nanotechnologie ist ein stark wachsender Bedarf der Wirtschaft an hoch qualifizierten Fachkräften absehbar. Bis 2015 wird erwartet, dass fast jeder Industriebereich durch Nanotechnologie beeinflusst wird. Es gilt, dem wachsenden Personalbedarf gerecht zu werden, bereits frühzeitig junge Menschen für Nanotechnologie zu interessieren, Talente zu fördern und den Zugang für Spitzenkräfte aus aller Welt zu erleichtern.

7.3.2 Berufliche Weiterbildung

In Nano-Unternehmen ist derzeit etwa jeder zweite Beschäftigte Akademiker. Facharbeiterinnen und Facharbeiter stellen einen Anteil von 20 % des Personals mit steigender Tendenz. Kleine und mittlere Unternehmen der Nanotechnologie erwarten für die nächsten fünf Jahre einen Bedarf von etwa 15.000 zusätzlichen Beschäftigten. In Zukunft wird die Anzahl der Firmen, der betroffenen Branchen und die Produktvielfalt weiter zunehmen. Die Bundesregierung wird Ihr Engagement weiter verstärken, um die Exzellenz in Ausbildung und Forschung zu fördern und damit einen Beitrag zu leisten, um hochqualifizierte Fachkräfte der Nanotechnologie am Standort Deutschland in ausreichender Zahl qualifizieren und beschäftigen zu können.

Aktionen

- **Entwicklung adressatengerechter Qualifizierungsmaßnahmen**
  Innovative Nano-Unternehmen entwickeln technologische Verfahren mit neuen Tätigkeitsprofilen und neuen nanospezifischen Qualifikationsanforderungen an die Beschäftigten. Diese Dynamik wird künftig verstärkt zu einem Bedarf an nanospezifischen Qualifizierungen führen. Maßgeschneiderte nanospezifische Qualifizierungsangebote sind derzeit noch wenig ausgeprägt. Nano-Unternehmen setzen oftmals noch auf direkte Kooperationen mit externen Wissensträgern aus Universitäten, Fachhochschulen und Forschungsinstituten. Um den künftigen Qualifizierungsbedarf decken zu können, wird die Bundesregierung flankierende Maßnahmen verstärken.

- **Kommunikation betrieblicher Nano-Qualifikationsanforderungen**
  Erste Analysen im Auftrag des BMBF zu qualifikatorischen Anforderungen der Nano-Unternehmen bieten Anregungen für die Ausrichtung künftiger Qualifizierungsmaßnahmen gemäß fachlichen und sozialen Erwartungen insbesondere kleiner und mittlerer Unternehmen. Im Bereich Charakterisierung und Analyse, einem Arbeitsschwerpunkt für Nano-Forscher und -Entwickler, sind derzeit Fachkompetenzen in der Rastermikroskopie, Partikelgrößenmessung und Optischen Mikroskopie besonders gefragt. Zudem sind methodische und soziale Kompetenzen wie Projektmanagement, englische Sprache, fachübergreifendes Denken und Teamfähigkeit erwünscht. Entsprechende Qualifikationsprofile der Beschäftigten werden zunehmend nachgefragt. Die Bundesregierung wird die Anforderungen weiterhin beobachten und neue Entwicklungen adressatengerecht kommunizieren.

- **Analysen zum Verbleib von Nano-Absolventen**
  Weiterbildung bereits gut ausgebildeter Fachkräfte zielt auf Innovationsfähigkeit und dauerhafte Beschäftigung. Erfahrungsberichte und Analysen zum beruflichen Verbleib entsprechender Absolventen ebenso wie die adressatengerechte Darstellung und Kommunikation attraktiver Berufsaussichten wecken Interesse, vermitteln Anreize, können zur nanospezifischen Berufsorientierung beitragen und für berufliche Weiterentwicklungen im Zukunftsfeld der Nanotechnologie Orientierungen geben. Zum Verbleib von Absolventen nanotechnologischer Studiengänge sind vertiefende Analysen vorgesehen. Diese lassen weitere Aufschlüsse zu nanotechnologisch geprägten Tätigkeitsfeldern sowie dem Bedarf an nanospezifischer Einarbeitung und Weiterbildung erwarten.

8 Kommunikation intensivieren – Dialoge führen

8.1 Information

Als eines der aussichtsreichsten Innovationsfelder bedarf Nanotechnologie für ihre Wirksamkeit nicht nur des Engagements in Forschung und Entwicklung, sondern auch der öffentlichkeitswirksamen und zielgerechten Information und Kommunikation. Neue Erkenntnisse zur interdisziplinär geprägten Nanotechnologie vermittelt die Bundesregierung vielfältig auf unterschiedlichen Wegen. Dazu gehören Fachmedien, Internetportale, Publikationen, Broschüren und Ausstellungen. Ein Schwerpunkt der Aktivitäten liegt bei der Ansprache des potentiellen Nachwuchses.

Aktionen

- **Fachmedien für Schüler und Studenten**
  Kompetenz- und Berufsinformationszentren, Jugendmagazine, geeignete Fachmedien mit nanotechnologischen Inhalten, Multiplikatoren und weitere Partner leisten Beiträge, um den Zugang zur Nanotechnologie für Jugendliche zu erleichtern. Informationsveranstaltungen der Hochschulen sprechen Studieninteressenten direkt an. Virtuelle Reisen in die kleinsten bekannten Dimensionen unseres Kosmos ermöglicht das BMBF bereits online über www.nanoreisen.de. Das mehrfach ausgezeichnete interaktive Angebot wurde speziell entwickelt, um junge Menschen spielerisch für „Abenteuer hinterm Komma“ zu interessieren. Die Bundesregierung wird bewährte Informations- und Kommunikationsangebote weiter entwickeln, neue bedarfsgerechte Angebote initiieren und bei der Adressierung ihrer Zielgruppen unterstützen.

- **Fachmedien für die interessierte Öffentlichkeit**
  Das Projekt DaNa [17] hat zum Ziel, in einem interdisziplinären Ansatz mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Humantoxikologie, Ökotoxikologie, Biologie, Physik und Chemie Forschungsergebnisse zu Nanomaterialien und deren Auswirkungen auf Menschen und die Umwelt so aufzubereiten, dass sie für interessierte Laien verstehbar sind und hat dazu die bestehende Internet-Wissensplattform www.nanopartikel.info weitergeführt und ausgebaut.

- **Museen und Sonderausstellungen**
  Nanotechnologie erreicht zunehmend auch große Technikmuseen wie das Deutsche Museum in München mit einer Dauerausstellung im „Zentrum Neue Technologien“ und das Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim mit einer Sonderausstellung zu Nutzen und Visionen der Nanotechnologie. Diese wird 2011 auch in der DASA Arbeitswelt Ausstellung der BAuA mit einem Rahmenprogramm – unter anderem auch Beratung für Start-up Unternehmen – gezeigt. Zudem präsentiert die DASA das Thema Nano in Teilen der ständigen Ausstellung. Die Welt innovativer Werkstoffe präsentiert das BMBF mit der Wanderausstellung „Expedition Materia“ auf anschauliche Weise anhand einer Vielzahl von Exponaten. Nanotechnologie und Werkstoffforschung werden nicht nur als Basis für viele industrielle Entwicklungen, sondern auch als Grundlagen des alltäglichen Lebens vermittelt.

- **nanoTruck-Initiative des BMBF**
  Unter dem Motto „Hightech aus dem Nanokosmos“ macht die nanoTruck-Initiative des BMBF die rasanten Entwicklungen dieser Zukunftstechnologie unmittelbar erlebbar. Auf seiner Tour durch Deutschland erreicht der nanoTruck insbesondere junge Menschen und informiert über Chancen, interessante Karrierewege und spannende Arbeitsfelder der Nanotechnologie ebenso wie über neue Verfahren, Produkte, Risiken und Anwendungsperspektiven. Die nanoTruck-Initiative hat zum Anliegen, die Nanotechnologie aus den Laboren der Wissenschaft zu holen und sie vor Ort direkt zu den Menschen zu bringen.

8.2 Dialogprozesse

Für interessierte Bürger sollen vielfältige interaktive Kommunikationsangebote eröffnet und Dialogangebote weiterentwickelt werden, um nanospezifische Risiken einschätzen und Chancen für Wissenschaft, Wirtschaft, Beruf und Gesellschaft unvoreingenommen bewerten, diskutieren und nutzen zu können. Ein Beispiel dafür sind Verbraucherkonferenzen, die Bürger direkt zu Wort kommen lassen und meinungsbildend wirken.

8.2.1 Der Dialog mit den Bürgerinnen und Bürgern

Die Bundesregierung unterstützt Bürgerdialoge, bei denen interessierte Bürgerinnen und Bürger sich sowohl sachlich informieren können als auch frühzeitig angehört werden. Die Diskussion mit Experten bietet Bürgerinnen und Bürgern die Möglichkeit, Anregungen für die zukünftige Ausrichtung dieses Themenfeldes zu geben.

Aktionen

- **Bürger-Dialoge NanoCare.**
  Das Anliegen der Dialoge NanoCare besteht darin, Bürgerinnen und Bürgern aktuelle Forschungsergebnisse aus den BMBF-Projekten zur Risikoforschung in der Nanotechnologie zu vermitteln und zu diskutieren. Hier stehen Experten aus Forschung und Entwicklung, die in den Projekten mitarbeiten für den direkten Austausch und für Fragen der Bürgerinnen und Bürger zur Verfügung.

- **Bürger-Dialogprozess im Rahmen der Hightech-Strategie**
  Das BMBF plant auch Bürgerdialoge, deren Fokus über die Diskussion von Ergebnissen der Risikoforschung hinausgeht. Dieser Dialogprozess soll verschiedene Elemente umfassen, wie u. a. Zielgruppendialoge, Bürgerkonferenzen, Online-Dialoge oder Bürgergutachten. Das Thema Nanotechnologie wurde dafür als Pilot-Thema identifiziert, da es einen Schwerpunkt in der technologischen Forschungsförderung des BMBF bildet. Im Fokus des Dialogs werden Anwendungsfelder für Nanotechnologie und Nanomaterialien stehen, zum Beispiel in Kosmetika oder Textilien.

8.2.2 Der Dialog mit Interessenvertretern und Nicht-Regierungsorganisationen

- **NanoDialog**
  Im Rahmen der „Nano-Initiative – Aktionsplan 2010“ wurde bereits im November 2006 vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) die NanoKommission der deutschen Bundesregierung berufen. Die Nano-Kommission führt den NanoDialog, einen Stakeholder-Dialog, an dem Wissenschaft, Wirtschaft, Politik, Kirchen, Umwelt- und Verbraucherverbände mitwirken. Die Nano-Kommission hat sich für ihre Arbeit Schwerpunkte gesetzt, die in vier Themengruppen bearbeitet werden:

  - **Entwicklung und Begleitung der Anwendung eines Prinzipienpapiers für den Umgang mit Nanomaterialien bei der Produktion und ihrer Integration in Produkte**
  - **Darstellung und Diskussion von Chancen und Risiken am Beispiel eines marktrelevanten Produktbereichs und eines „neuartigen Typs“ von Nanomaterialien**
  - **Begleitung der Regulierungsdebatte auf dem Gebiet der Nanomaterialien auf nationaler wie auf EU-Ebene**
  - **Beitrag zu einer vorläufigen Risikoeinschätzung von Nanomaterialien**

  In den Themengruppen werden Beiträge zum öffentlichen Diskurs über Chancen und Risiken des Umgangs mit Nanomaterialien erarbeitet und Instrumente zur Unterstützung des verantwortungsvollen Umgangs mit Nanomaterialien entwickelt. Ergebnisse der laufenden NanoKommission haben bei der Erstellung des Aktionsplans Berücksichtigung gefunden. Die zweite Phase der NanoKommission wird mit der Abschlussveranstaltung Anfang 2011 beendet sein.

- **Aktivitäten des BfR im Bereich Risikokommunikation**
  Einen Schwerpunkt des BfR stellen die Arbeiten zur Nanotechnologie-Risikokommunikation dar; Dialogpartner sind Verbraucher, Wissenschaftler, Internetnutzer oder Journalisten.
  Das BfR hat sich bereits frühzeitig der Frage gewidmet, wie die Nanotechnologie von der Bevölkerung und in den Medien wahrgenommen wird und zu diesen Fragestellungen mehrere Forschungsprojekte und Studien durchgeführt:

- **Delphi-Expertenbefragung zu „Risiken nanotechnologischer Anwendungen in den Bereichen Lebensmittel, Kosmetika und Bedarfsgegenstände“**
- **BfR-Verbraucherkonferenz zur Nanotechnologie in Lebensmitteln, Kosmetika und Textilien**
- **Repräsentative Befragung zur Wahrnehmung der Nanotechnologie in der Bevölkerung**
- **Analyse der Darstellung der Nanotechnologie in den Medien**
- **Analyse der Wahrnehmung der Nanotechnologie in internetgestützten Diskussionen**
- **BfR-Forum Verbraucherschutz „Nanotechnologie im Fokus des gesundheitlichen Verbraucherschutzes“**

Partizipative Governance
Das vom BMBF im Rahmen der Wissenschaftsforschung geförderte Projekt „Partizipative Governance der Wissenschaft: Möglichkeiten, Wirkungen und Grenzen der Beteiligung zivilgesellschaftlicher Akteure am Beispiel von Biomedizin und Nanotechnologie“ hat das Ziel, zu einem vertieften sozialwissenschaftlichen Verständnis der Entstehungsbedingungen, Formen, Potenziale, Probleme und Grenzen partizipativer Governance von Wissenschaft beizutragen. Untersucht werden soll anhand von vergleichenden Fallstudien zur Biomedizin und Nanotechnologie, unter welchen Bedingungen und mit welchen Zielen sich Akteure aus der Zivilgesellschaft an der Gestaltung von Forschung und Technikentwicklung beteiligen, welche Wirkungen dies hat und wie sich dadurch das Verhältnis von Wissenschaft, Politik und Gesellschaft verändert.

Risikokonflikte sichtbar gemacht
Die politischen Debatten – so auch um die möglichen Gefahren, die mit der Nanotechnologie verbunden sind – sind für viele gesellschaftliche Akteure schwer zugänglich. Um Streitfragen, zentrale Argumente und unterschiedliche Positionen verschiedener Akteure sowie die zahlreichen Risikozusammenhänge einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen, hat ein Team aus Sozialwissenschaftlern, Informatikern und Praxispartnern in dem vom BMBF im Rahmen der „Sozialökologische Forschung“ geförderten Projekt „Risikokonflikte visualisiert – Entwicklung und Erprobung von internetbasierten Argumentationslandkarten“ so genannte „Argumentationslandkarten“ entwickelt: Per Mausklick können die Nutzer der Website http://riskcart.wzu.uni-augsburg.de unterschiedliche Perspektiven und wichtige Informationen des Diskurses um Nanotechnologie kennenlernen. Ziel der Kartierung ist es, allen Betroffenen ein Mitwirken an der gesellschaftlichen Gestaltung des Umgangs mit Risiken zu ermöglichen. Die Argumentationslandkarten stellen komplexe Inhalte so dar, dass der Risikodiskurs in seinen bislang verborgenen Zusammenhängen und unterschiedlichen Wechselwirkungen sichtbar wird.

9 Spitzenposition durch internationale Kooperation ausbauen

Die Globalisierung und die daraus resultierende weltweite Arbeitsteilung hat tiefgreifende ökonomische und soziale Folgen. Dies erfordert neben der Förderung von Forschung und Wissenschaft im eigenen Land auch eine verstärkte Nutzung der sich durch die Internationalisierung ergebenden neuen Chancen. Mehr als 90 % des weltweiten Wissens entsteht nicht in Deutschland. Für Innovationen und Arbeitsplätze ist es daher erforderlich, dieses weltweit vorhandene Wissen besser für den Standort Deutschland verfügbar zu machen. Auch über die Fragen der Wissensgenerierung hinaus ist die internationale Verflechtung der Nanotechnologie für deren Nutzung und Entwicklung ausschlaggebend. Fast alle Gesetze, die Nanomaterialien betreffen, werden auf europäischer Ebene verfasst, die Normierung erfolgt in internationalen Gremien und Unternehmen bzw. Unternehmensgründungen und deren Finanzierung stehen fast immer im internationalen Kontext. Nicht zuletzt sind internationale Forschungskooperationen für Deutschland von maßgeblicher Bedeutung.

Der Aktionsplan Nanotechnologie leistet einen wesentlichen Beitrag, die Strategie der Bundesregierung zur Internationalisierung von Wissenschaft und Forschung zu verwirklichen. Darin wird angestrebt, in Fachprogrammen eine Beteiligungsquote von 20 % für die internationale Zusammenarbeit zu erreichen. Ziel der Bundesregierung ist es, Forschung und Förderpolitik zur Nanotechnologie in Deutschland zur Unterstützung von Wertschöpfungsketten für strategische Zielmärkte international sichtbar zu machen. Daher werden Erkenntnisse der Nanotechnologie-Szene in den jeweiligen Zielregionen (Asien, Nord- und Südamerika, Ozeanien) als Grundlage für die Anbahnung geeigneter internationaler Forschungskooperationen zusammengetragen.

Germany Trade & Invest (GTAI)
Nanotechnologie ist für Germany Trade & Invest (GTAI), der Standortmarketingagentur des Bundes, ein wichtiger Baustein bei der Darstellung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft in den Zukunftstechnologien. Nanotechnologie wird als Innovationstreiber und Lösungsgeber in den wettbewerbsstärksten Sektoren der deutschen Wirtschaft, wie Maschinenbau, Elektrotechnik, Optik, Fahrzeugbau sowie Chemie und Pharma angesehen. Die hohe Nachfrage nach neuen Produkten und Prozessen in diesen Sektoren ist gleichzeitig Anreiz für ausländische Firmen, sich in die bestehenden deutschen Wertschöpfungsketten über Kooperationen, Joint Ventures und Direktinvestitionen zu integrieren. GTAI konzentriert ihre Akquisitionsbemühungen hierbei auf die Bereiche Nanoanalytik und Photonik, Organische Elektronik, Neue Materialien und Umwelttechnologien, Medizintechnik und Nanobiotechnologie und schließlich die nächste Generation der Photovoltaik. Zielgruppe sind hierbei im Besonderen global denkende, innovative kleine und mittlere Unternehmen.

Messen
Messen mit deutlich internationaler Strahlkraft tragen maßgeblich zur Erhöhung der Sichtbarkeit der deutschen Nanotechnologie bei. Als erfolgreich hat sich der gebündelte Auftritt auf Gemeinschaftsständen (German Area – BMBF – insbesondere für junge Unternehmen und Forschergruppen; German Pavilion – BMWi – für industriell geprägte Präsentationen) erwiesen.

9.1 Aktivitäten im Rahmen der Europäischen Union

Das Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union ist nach den Förderprogrammen der Bundesregierung die wichtigste Quelle für die öffentlich finanzierte Forschungsförderung im Bereich der Nanotechnologie in Deutschland. So betrug im 6. Forschungsrahmenprogramm die Gesamtfördersumme insgesamt knapp 1,4 Mrd. Euro. Seit 2007 wurden im Rahmen des 7. Forschungsrahmenprogramms bereits mehr als 1,1 Mrd. Euro im Bereich Nanotechnologie investiert [18]. Ein signifikanter Anteil dieser Summe ging an Unternehmen und akademische Forschungseinrichtungen in Deutschland. Im Bereich der industriellen Verbundforschung lag beispielsweise der Anteil deutscher Partner an der Fördersumme regelmäßig bei etwa 20 %.

In den nächsten fünf Jahren werden auf europäischer Ebene wichtige Weichenstellungen vorgenommen. Zeitgleich zum Aktionsplan der Bundesregierung veröffentlicht die EU-Kommission einen „Nanotechnologie-Aktionsplan 2010–2015“, der u. a. verstärkt die industrielle Umsetzung und das Innovationsumfeld nanotechnologisch-basierter Prozesse und Produkte in den Mittelpunkt rückt. Mit der Vorbereitung des 8. Forschungsrahmenprogramms, das 2014 startet, werden auch wichtige Entscheidungen zur öffentlichen Forschungsförderung im Bereich der Nanotechnologie getroffen.

Aktionen

Die Bundesregierung wird die Europäische Kommission bei der Umsetzung des Nanotechnologie-Aktionsplans 2010-2015 der EU unterstützen:

- **Deutsche Beteiligung bei der Vernetzung von nationalen Aktivitäten zur gemeinsamen Erforschung von Chancen und Risiken der Nanotechnologie.**
- **Deutsche Beteiligung an transnationalen Fördermaßnahmen zur Nanotechnologie, z. B. ERA-NET EuroNanoMed und dem ERA-NET SIINN (Safe Implementation of Innovative Nanoscience and Nanotechnology)**
- **Mitarbeit bei der Identifizierung von Forschungsthemen von nationaler und europäischer Relevanz, um Synergieeffekte zu nutzen und Doppelförderung zu vermeiden**
- **Konstruktive Teilnahme bei der Verbesserung der gesellschaftlichen Rahmenbedingungen und der Verringerung von Innovationsbarrieren in Europa (z. B. bei Regulierungsprozessen wie REACH, Standardisierung und Normung, Risikofinanzierung)**

Ziel der Bundesregierung ist die Etablierung eines verantwortungsvollen, integrierten und wirtschaftsfreundlichen Innovationsumfeldes für die Nanotechnologie in Europa.

Die Bundesregierung wird auch weiterhin die starke Beteiligung deutscher Institutionen an den Forschungsrahmenprogrammen der EU fördern und somit den Zugang deutscher Partner zu den Ergebnissen der europäischen FuE-Aktivitäten im Bereich der Nanotechnologie unterstützen.

- **Arbeit der Nationalen Kontaktstelle Nanotechnologie im 7. Forschungsrahmenprogramm als ein wichtiges Instrument mit dem Ziel einer weiterhin starken Beteiligung Deutschlands im Rahmen der EU-Forschungsförderung**
- **Intensive Beteiligung bei der Vorbereitung und Umsetzung von nanotechnologischen Forschungsförderaktivitäten im 8. EU-Rahmenprogramm**
- **Vernetzung bestehender Forschungsaktivitäten und -ergebnisse**

Weiterhin wird die Bundesregierung durch eine koordinierte Abstimmung zwischen den Bundesressorts eine einheitliche Vertretung deutscher Interessen auf EU-Ebene gewährleisten.

9.2 Aktivitäten im Rahmen der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD)

Die zunehmende, intensive Nutzung der Nanotechnologie erfordert auch auf internationaler Ebene ein koordiniertes Vorgehen, um die umwelt- und gesundheitsverträgliche sowie nachhaltige Entwicklung der Nanotechnologie zu gewährleisten. Voraussetzung ist eine realistische Abwägung von Chancen und Risiken sowie eine detaillierte Betrachtung der diversen Methoden und Materialien. Obwohl in den letzten Jahren zahlreiche Forschungsinitiativen zu den möglichen Gesundheits- und Umweltrisiken von Nanomaterialien gestartet wurden, bestehen doch immer noch Wissenslücken, die insbesondere auch methodisch bedingt sind, da es an standardisierten Tests bisher noch fehlt. Besondere Bedeutung hat in diesem Zusammenhang die internationale Abstimmung von Testverfahren und Daten, die gegebenenfalls zu daraus ableitbaren regulatorischen Maßnahmen führen. Durch eine konzertierte internationale Zusammenarbeit können die zahlreich vorhandenen Wissenslücken geschlossen werden. Denn nur international anerkannte Verfahren ermöglichen den Handel und die sichere Anwendung von Nanomaterialien über die nationalen Grenzen hinaus.

Vor diesem Hintergrund wurde im Jahr 2006 die „Working Party on Manufactured Nanomaterials (WPMN)“ des „Chemicals Committee and Working Party on Chemicals, Pesticides and Biotechnology“ der OECD ins Leben gerufen. Ziel der Working Party ist es, sich im Rahmen einer internationalen Kooperation mit den Sicherheitsfragen rund um Nanomaterialien zu befassen. In der Working Party sind mehr als 100 Experten verschiedener Stakeholder aus OECD-Mitgliedsstaaten, aber auch aus Nicht-Mitgliedsstaaten und Experten aus Organisationen wie UNEP, WHO, ISO, BIAC, TUAC und Umweltbehörden vertreten. Im Rahmen der WPMN soll in verschiedenen Arbeitsgruppen bereits in einem frühen Stadium die Sicherheitsforschung zu Nanomaterialien adressiert werden, um so parallel mit dem technischen Fortschritt einher zu gehen. Eines der Themenfelder der WPMN ist das „Sponsorship Programm“. Hier werden in Verantwortung der beteiligten Staaten Stoffdossiers zu repräsentativen Nanomaterialien erstellt und Wissenslücken durch Eigenforschung geschlossen. Zwischenergebnisse der einzelnen Gruppen liegen bereits vor und sind publiziert [19]. Die erarbeiteten Ergebnisse der WPMN fließen auch in die nationale und internationale Risikobewertungs- und Regulierungsdebatte mit ein.

Im Jahr 2007 wurde von der OECD unter dem Dach des Committee for Scientific and Technological Policy (CSTP) eine weitere Arbeitsgruppe zur Nanotechnologie (Working Party on Nanotechnology; WPN) eingerichtet. Mitglieder sind Vertreter aus 26 Nationen, sowie aus EU, ISO, BRIC und BIAC. Die WPN fungiert als Politik-Beratungsgremium zu Fragen der verantwortlichen weltweiten Entwicklung der Nanotechnologie. In der WPN werden die Themen wissenschaftliche und ökonomische Indikatoren, Analyse nationaler Politiken, Identifikation von In-novationsbarrieren und Herausforderungen bei der Ergebnisumsetzung, Beitrag der Nanotechnologie zur Bewältigung globaler Probleme, internationale Zusammenarbeit, Bildung, öffentlicher Dialog und Politikforen zu international wichtigen politischen Angelegenheiten diskutiert. Deutschland wird in der WPN durch das BMBF repräsentiert. Inhalte und Ergebnisse der Arbeitsgruppen sind öffentlich zugänglich [20].

Aktionen

- **Deutsche Mitarbeit in der OECD WPMN**
  Deutschland entsendet eine Delegation zur WPMN, die aus Vertretern der Bundesbehörden und Forschungsinstituten mit Expertise zur Sicherheitsforschung von Nanomaterialien besteht. Durch diese Delegation können damit für alle in der WPMN bearbeiteten Themenfelder Beiträge geleistet werden. Das Umweltministerium hat den Vorsitz der deutschen Delegation. Deutschland ist gemeinsam mit Frankreich die im Sponsorship Programm verantwortliche Nation bei der Bearbeitung von Titandioxid und trägt zusätzlich zur Erforschung der Umweltrisiken von Nano-Silber bei. Außerdem werden Daten zu Zink-, Aluminium- und Ceroxid, sowie zu Kohlenstoffnanoröhrchen (CNTs) beigesteuert.

- **Deutsche Mitarbeit in der OECD WPN**
  Deutschland wird sich durch einen Vertreter des BMBF, der auch Vertreter des Ressortkreises ist, weiterhin aktiv in die Arbeit der WPN einbringen. Dabei werden für internationale Vergleiche nötige Basisinformationen der deutschen Nanotechnologieförderung und -szene erarbeitet und für Studien der OECD übermittelt sowie OECD-Informationen verwendet, um die Förderstrategie verschiedener Ressorts zu unterstützen. Derzeit werden verschiedene Projektbereiche durch die Arbeit der WPN adressiert, die sich insbesondere mit der Entwicklung von Indikatoren und der Bereitstellung statistischer Daten, der Analyse nationaler Politiken, der Identifizierung und Analyse von Innovationsbarrieren sowie mit den Beiträgen befassen, die die Nanotechnologie bei der Bewältigung globaler Herausforderungen leisten kann.

Endnotenverzeichnis

[1] 1 nm = 10^{-9} m

[2] Auffan *et al.* (2009) Nature Nanotechnology 242, 634–641

[3] On the basic concept of “Nano-technology” (1974). Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering

[4] Kosmetik VO, Neufassung EP 24.03.2009

[5] JRC Reference Report (2010) „Considerations on a Definition of Nanomaterial for Regulatory Purposes” http://ec.europa.eu/dgs/jrc/downloads/jrc_reference_report_201007_nanomaterials.pdf

[6] Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Wahrnehmung der Nanotechnologie in der Bevölkerung. Berlin 2008

[7] www.mf.mpg.de/mpg/websiteMetallforschung/english/veroeffentlichungen/GENNESYS/index.html

[8] www.nano-map.de

[9] nano.DE-Report 2009 – Status Quo der Nanotechnologie in Deutschland, BMBF 2009

[10] Nanotechnology: An overview based on indicators and statistics, STI working paper 2009/7 Statistical Analysis of Science, Technology and Industry, OECD

[11] Nanotechnology: An overview based on indicators and statistics, STI working paper 2009/7 Statistical Analysis of Science, Technology and Industry, OECD 2009

[12] www.validierung-foerderung.de

[13] **NanoCare** – Gesundheitsrelevante Aspekte synthetischer Nanopartikel: Schaffung einer allgemeinen Informations- und Wissensbasis als Grundlage für eine innovative Materialforschung (BMBF, 2005–2009)
INOS – Identifizierung und Bewertung von Gesundheits- und Umweltauswirkungen von technischen nanoskaligen Partikeln (BMBF, 2005–2009)
TRACER – Toxikologische Bewertung und Funktionalisierung von Kohlenstoff-Nanomaterialien (BMBF, 2005–2009)

[14] Scientific Opinion of the Scientific Committee on a request from the European Commission on the Potential Risks Arising from Nanoscience and Nanotechnologies on Food and Feed Safety. The EFSA Journal (2009) 958, 1–39

[15] **R**egistration, **E**valuation, **A**uthorisation and Restriction of **Ch**emical substances (EC 1907/2006)

[16] CLP: Regulation on classification, labelling and packaging (EC 1272/2008)

[17] DaNa: Erfassung, Bewertung und breitenwirksame Darstellung von gesellschaftlich relevanten Daten und Erkenntnissen zu Nanomaterialien (www.nanopartikel.info)

[18] Nanosciences and Nanotechnologies: An action plan for Europe 2005-2009. Second Implementation Report 2007-2009, COM(2009)607.

[19] www.oecd.org/env/nanosafety

[20] www.oecd.org/sti/nano

Weiterführende Informationen

Internetadressen

Wissenschaftskommunikation Nanotechnologie
www.nanotruck.de
Bildungsangebote Nanotechnologie
www.nano-bildungslandschaften.de
Virtuelle Reisen in den Nanokosmos
www.nanoreisen.de
Unterrichten mit digitalen Medien – Nanotechnologie
www.naturwissenschaften-entdecken.de
Wege in Studium und Beruf – Nanotechnologie
www.abi.de
Themenfokus „Nanotechnologien“ des BMBF-Portals „Kooperation international“
www.kooperation-international.de
Risikoforschung in der in der Nanotechnologie:
www.nanopartikel.info
Informationen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) zu Nanomaterialien
http://www.baua.de/cln_094/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Nanotechnologie.html
Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR): Ausgewählte Fragen und Antworten zur Nanotechnologie:
http://www.bfr.bund.de/cd/8552
UBA: Hintergrundpapier „Nanotechnik für Mensch und Umwelt – Chancen fördern und Risiken mindern“, UBA 2009
http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennummer&Suchwort=3765
Informationen zu Nano in der DASA-Arbeitswelt Ausstellung: www.dasa-dortmund.de

Broschüren

Nachwuchs für die Nanotechnologie – Erfolgsgeschichten aus dem Wettbewerb NanoFutur.
BMBF 2009
nano.DE-Report 2009 – Status Quo der Nanotechnologie in Deutschland
BMBF 2009
Nanopartikel – kleine Dinge, große Wirkung – Chancen und Risiken
BMBF, 2008
Nanotechnologie – Innovationen für die Welt von morgen
BMBF, 2006
Nanotechnologie Aktuell – Forschung, Karriere und Kompetenz. IWV 2009
nanoTruck – Hightech aus dem Nanokosmos.
BMBF 2008
Hochschulangebote im Bereich Nanotechnologie.
VDI TZ 2006
Duale Ausbildung in innovativen Technologiefeldern. BMBF 2005
Leitfaden für Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und Verband der Chemischen Industrie (VCI), 2007
http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/675748/publicationFile/49868/Leitfaden-Nanomaterialien.pdf

Forschungsberichte

BfR, Wahrnehmung der Nanotechnologie in der Bevölkerung. Berlin 2008
Forschungsbericht IW Nr. 46, Fachkräftemangel in Deutschland. Köln 2009
ISW Institut, Weiterbildungsbedarf in Unternehmen der Nanotechnologie. Halle 2008
K. Rödelsperger, B. Brückel, S. Podhorsky, J. Schneider: Charakterisierung von ultrafeinen Partikeln für den Arbeitsschutz, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund, 2009
http://www.baua.de/cln_094/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2075.html
M. Roller, Untersuchungen zur krebserzeugenden Wirkung von Nanopartikeln und anderen Stäuben, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund, 2008.
http://www.baua.de/cln_094/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2083.html
F. Pott, M. Roller, Untersuchungen zur Kanzerogenität granulärer Stäube an Ratten – Ergebnisse und Interpretationen.
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund, 2003.
http://www.baua.de/cln_094/de/Publikationen/Fachbeitraege/Gd1.html

Abkürzungsverzeichnis

ANKA	Angströmquelle Karlsruhe
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BESSY	Berliner Elektronenspeicherring-Gesellschaft für Synchrotronstrahlung
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BIAC	Independent International Business Association
BMBF	Bundesministerium für Bildung
BMU	Bundesministerieum für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BRIC-Staaten	Brasilien, Russland, Indien, China
CARACAL	Competent Authorities for REACH and CLP
CASG Nano	Competent Authorities Subgroup Nano
CEN	European Committee for Standardization
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
CERN, Genf	European Organization for Nuclear Research
CLP	Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien (Regulation on Classification, Labelling nand Packaging)
CNT	Carbon Nanotubes
CSTP	Committee for Scientific and Technological Policy
DaNa	Erfassung, Bewertung und breitenwirksame Darstellung von gesellschaftlich relevanten Daten und Erkenntnissen zu Nanomaterialien
DESY Hamburg	Deutsches Elektronen-Synchrotron
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DORIS	Doppel-Ring-Speicher am DESY
EFSA	European Food Safety Authority
EMBL	European Molecular Biology Laboratory
ERA	European Research Area
FLASH	Freie-Elektronen-Laser Hamburg
ForMaT	Forschung für den Markt im Team
FRM	Forschungsreaktor München
FZJ	Forschungszentrum München
GKSS	Helmholtz-Zentrum Geesthacht
GSI Darmstadt	GSI Gesellschaft f. Schwerionenforschung
GTAI	Germany Trade &Invest
HFR	Hochflussreaktor
HTGF	High-Tech Gründerfonds
HZB Berlin	Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie
IEC	International Electrotechnical Commission
ILL Grenoble	Institut Laue-Langevin
ISO	International Organization for Standardization
ISOLDE	Isotope On-Line Detector
ITO	Indiumzinnoxid
JKI	Julius-Kühn-Institut
KIT Karlsruhe	Karlsruher Institut für Technologie
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LFGB	Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuchs
LZH	Laserzentrum Hannover
MRI	Max Rubner-Institut
NEnA	Nano-Entrepreneurship-Academies
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OLED	Organische Leuchtdioden
OPV	Organische Photovoltaik
PETRA	Positron-Elektron-Tandem-Ring-Anlage am DESY
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
REACH	Registrierung von Chemikalien (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical Substances)
SIS	Synchrotron bei der GSI
TUAC	Trade Union Advisory Committee
TUM München	Technische Universität München
UBA	Umweltbundesamt
UNEP	United Nations Environment Programme

UNILAC	Universal Linear Accelerator
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vTI	Johann Heinrich von Thünen-Institut
WHO	World Health Organization
WPMN	Working Party on Manufactured Nanomaterials
WPN	Working Party on Nanotechnology
XFEL	X-Ray Free Electron Laser



Gesamtherstellung: H. Heenemann GmbH & Co., Buch- und Offsetdruckerei, Bessemerstraße 83–91, 12103 Berlin, www.heenemann-druck.de
Vertrieb: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 10 05 34, 50445 Köln, Telefon (02 21) 97 66 83 40, Fax (02 21) 97 66 83 44, www.betrifft-gesetze.de
ISSN 0722-8333